



TUGAS AKHIR – MO 141326

**STUDI EKSPERIMEN MODEL HIDROLIK *WATER*
INTAKE PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GAS DAN UAP (PLTGU)**

Taufiq Wibawa Muslim

NRP. 04311440000112

Dosen Pembimbing

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



FINAL PROJECT – MO 141326

***AN EXPERIMENTAL STUDY ON HYDRAULICS
MODEL OF WATER INTAKE AT GAS AND STEAM
POWER PLANT***

Taufiq Wibawa Muslim

NRP. 04311440000112

Supervisors :

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

Ocean Engineering Department

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2019

Studi Eksperimen Model Hidrolik *Water Intake* pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan,
Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh:

TAUFIQ WIBAWA MUSLIM NRP. 04311440000112

Disetujui oleh :

1. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. (Penguji 1)

4. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

SURABAYA, JANUARI 2019

ABSTRAK

Studi Eksperimen Model Hidrolik *Water Intake* pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Nama Mahasiswa : Taufiq Wibawa Muslim
NRP : 043114410000112
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D
Dr. Eng. Shade Rahmawati., S.T., M.,T.

Penelitian ini membahas tentang evaluasi performa *Water Intake* yang terdapat pada sistem pendingin Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), pengujian dilakukan dengan menggunakan pemodelan fisik dari kanal *Water Intake* PLTGU Grati, Pasuruan, Jawa Timur. Desain *Water Intake* dengan dimensi $L = 33.30$ m, $B = 13.40$ m dan $T = 11.67$ m dibangun dengan skala geometri 1:15, penskalaan prototipe ke model menggunakan hukum *Froude*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola aliran yang terjadi pada model fisik dan elevasi minimal yang diizinkan berdasarkan pedoman yang berlaku. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah kecepatan aliran di dalam kanal dan juga dokumentasi fisik pola aliran didalam kanal termasuk pembentukan *vortex*. Pengujian dilakukan pada tiga variasi elevasi yaitu *HWL*, *MSL* dan *LWL*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pola aliran di dalam kanal bervariasi terhadap kedalaman dengan rata-rata nilai *Reynolds Number* = 3.5×10^4 . Pembentukan *vortex* terjadi pada semua elevasi dimana *vortex* terbentuk di area dekat pompa. Hasil pengamatan menunjukkan elevasi kritis kanal berada pada $H = 0.29$ m dimana pada kondisi sesungguhnya yaitu $H = 4.35$ m.

Kata kunci: *Water Intake*, *vortex*, *Reynolds Number*, kedalaman kritis

ABSTRACT

An Experimental Study on Hydraulics Model of Water Intake at Gas and Steam Power Plant

Name : Taufiq Wibawa Muslim
REG : 043114410000112
Departmen : Ocean Engineering
Supervisors : Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph. D
Dr. Eng. Shade Rahmawati., S.T., M.,T.

This study discusses the evaluation of Water Intake performance found in the cooling system of Gas and Steam Plants (PLTGU), the tests were carried out using physical modeling from the Water Intake channel of the PLTGU Grati, Pasuruan, East Java. Water Intake Design with dimensions $L = 33.30$ m, $B = 13.40$ m and $T = 11.67$ m built with a 1:15 scale geometry, prototype scaling to the model using Froude law. The purpose of this study was to determine the flow patterns that occur in the physical model and the minimum elevation permitted based on applicable guidelines. The variables measured in this study are the flow velocity inside the canal and also the physical documentation of flow patterns inside the canal including vortex formation. Tests were carried out on three elevation variations, namely HWL, MSL and LWL. The experimental results show that the flow pattern inside the canal varies with depth with an average value of Reynolds Number = 3.5×10^4 . The formation of vortex occurs at all elevations where vortex is formed in the area near the pump. The results of the observations show that the critical elevation of the canal is at $H = 0.29$ m where the actual condition is $H = 4.35$ m.

Keywords: *Water Intake, vortex, Reynolds Number, critical depth*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil aalamiin. Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala nikmat yang telah dilimpahkan oleh-Nya kepada penulis sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat selesai dalam waktu pengerjaan selama 2 (dua) semester. Shalawat serta salam semoga terlimpah curahkan kepada junjungan kita yaitu Nabi Muhammad SAW.

Pada laporan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen Model Hidrolik Water Intake pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)” ini penulis menuangkan sedikit ilmu yang penulis terima selama masa perkuliahan yaitu mengenai pola aliran dalam fluida dan vortex. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca sebagai referensi maupun untuk menambah ilmu pengetahuan pada pembaca.

Penulis tentu menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan di dalamnya. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk makalah ini, supaya penulis dapat memperbaiki kesalahan di masa yang akan datang. Demikian yang dapat penulis haturkan, atas segala kekurangan yang penulis perbuat penulis mengucapkan moho maaf yang sebesar-besarnya.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Surabaya, Januari 2019

Taufiq Wibawa Muslim

NRP. 04311440000112

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ini penulis haturkan kepada pihak-pihak yang sangat berjasa dalam setiap langkah yang penulis ambil sampai saat laporan Tugas Akhir ini tersusun

1. Kepada orang tua tercinta, ayahanda (bapa) Aming Rismana dan ibunda (mamah) Aan Darwati, saya sangat bersyukur memiliki kalian yang selalu ada di saat suka maupun duka dan telah mengantarkan saya sampai ke titik ini. Pencapaian ini merupakan hadiah kecil yang dapat saya berikan kepada kalian.
2. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc. selaku Dosen Wali yang sangat baik sekali setiap saya berkonsultasi mengenai perkuliahan saya.
3. Bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Dr. Eng., Shade Rahmawati., S.T., M.,T., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan saran, bimbingan, ilmu pengetahuan dan juga fasilitas yang mendukung penelitian yang dilakukan.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc. dan Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini. Terima kasih telah memberikan ujian, saran, bimbingan, dukungan, dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis.
5. Bapak Dr.Eng. Rudi Waluyo, S.T., M.T., selaku kepala Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
6. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D., selaku koordinator mata kuliah Tugas Akhir atas ketersediaanya membantu segala keperluan administrasi Tugas Akhir.
7. Seluruh Dosen dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah berjasa dalam memberikan ilmu dan kemudahan selama masa perkuliahan.
8. Keluarga besar Racana Sepuluh Nopember Gugusdepan Surabaya 610-Serabaya 611 yang sudah saya anggap sebagai keluarga di Surabaya.

Kebersamaan dan juga pengalaman selama saya aktif di kegiatan pramuka sangat berharga bagi saya.

9. Keluarga mahasiswa Teknik Kelautan ITS angkatan 2014, Maelstrom L-32 P-54 yang selalu memberikan dukungan kepada saya.
10. Pak Dwi Purnomo, Pak Zuhud, dan Pak Arief yang telah membantu dalam proses konstruksi model kanal dan juga operasional penelitian.
11. Keluarga kecil DD Adventure, teman akrab bertualang.
12. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu saya, memberikan energi positif kepada saya sehingga saya bisa menyelesaikan perkuliahan di ITS.

Dari lubuk hati saya yang paling dalam, saya haturkan terima kasih yang sebesar-besarnya telah mengambil peran dalam penyusunan Tugas Akhir ini maupun selama masa perkuliahan saya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan saudara dan tergolong amal jariyah.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Persamaan Model dan Pemilihan Skala	6
2.2.2 Batas-Batas Model dan Detail Internal	7
2.2.3 Sifat-sifat Fluida	10
2.2.4 Kekentalan (Viskositas)	11
2.2.5 Klasifikasi Aliran Fluida	12
2.2.6 Reynolds Number	21
2.2.7 Kecepatan Aliran Balik (<i>Cross-flow</i>)	22
2.2.8 Pusaran (<i>Vortex</i>)	23
2.2.9 <i>Submergence (S)</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Pembuatan Model Uji	30
3.2.1 Penentuan Skala Model.....	31

3.2.2	Detail Internal Kanal.....	34
3.2.3	Pemodelan Sistem Perpompaan	36
3.3	<i>Set-up</i> Eksperimen	39
3.4	Teknik Pengambilan Data	40
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Penelitian.....	43
4.1.1	Pengujian dan Evaluasi Struktur Kanal	43
4.1.2	Pengujian Sistem Kinerja Pompa	44
4.1.3	Deskriptif Data Penelitian	45
4.1.4	Distribusi Kecepatan Aliran dalam Kanal	46
4.2	Analisis Pola Aliran Fluida	48
4.3	Visualisasi Pembentukan <i>Vortex</i>	54
4.3.1	Visualisasi Pembentukan <i>Vortex</i> pada Elevasi <i>High Water Level</i> (58 cm)	54
4.3.2	Visualisasi Pembentukan <i>Vortex</i> pada Elevasi <i>Mean Sea Level</i> (44.5 cm)	56
4.3.3	Visualisasi Pembentukan <i>Vortex</i> pada Elevasi <i>Low Water Level</i> (31 cm)	56
4.4	Menentukan Kedalaman Kritis (H_{Cr})	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tipe-tipe pipa <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> yang lazim digunakan pada <i>Intake Structure (Hydraulics Institute Standard, 1998)</i>	8
Gambar 2.2	Profil pergerakan fluida disekitar batas solid	11
Gambar 2.3	Aliran <i>unsteady</i>	13
Gambar 2.4 (a)	Kondisi aliran seragam dan; (b) Kondisi aliran tidak seragam	14
Gambar 2.5	Aliran laminar, transisi dan turbulen	15
Gambar 2.6	Distribusi kecepatan pada saluran terbuka	15
Gambar 2.7	Distribusi kecepatan pada saluran tertutup	16
Gambar 2.8	Aliran <i>viscous</i> melalui sebuah pilar silinder	17
Gambar 2.9	Aliran <i>inviscid</i> melalui sebuah pilar silinder	18
Gambar 2.10	Aliran berotasi	19
Gambar 2.11	<i>Unseparated flow</i>	20
Gambar 2.12	<i>Separated flow</i>	20
Gambar 2.13	Klasifikasi Pola Aliran Berdasarkan <i>Reynold Number</i>	22
Gambar 2.14	Tipe <i>Vortex (Hyraulics Institute Standards, 1998)</i>	24
Gambar 2.14	<i>Critical submergence</i> pada <i>Water Intake</i>	25
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	29
Gambar 3.2	Detail kolam tampak atas (GRT-CC03-P0PAC-175164_R1)	30
Gambar 3.3	Detail kolam tampak samping (GRT-CC03-P0PAC-175165_R1)	30
Gambar 3.4	Penampang atas dan samping model fisik <i>Water Intake</i>	32
Gambar 3.5	Proses pembuatan kerangka model kanal <i>Water Intake</i>	33
Gambar 3.6 (a)	Proses pengecatan kerangka model uji; dan	
	(b) Proses pemasangan kaca <i>tempered</i> sebagai dinding kanal	33

Gambar 3.7(a) <i>Water Outflow</i> pada Model Kanal;	
(b) <i>Water Inflow</i> pada Model Kanal	34
Gambar 3.8 Desain penyangga sistem penyaringan pada kanal <i>Water Intake</i> PLTGU Grati (a) <i>Bar Screen</i> ; (b) <i>Travelling Screen</i>	35
Gambar 3.9 (a) Bentuk Geometri <i>Bar Screen</i> ; dan (b) <i>Travelling Screen</i>	35
Gambar 3.10 Susunan <i>Traveling Screen</i> pada <i>intake model</i>	36
Gambar 3.11 Posisi pemasangan pompa sentrifugal vertikal	37
Gambar 3.12 Pompa Sentrifugal pada Pemodelan <i>Water Intake</i>	38
Gambar 3.13 Pemasangan <i>inverter</i>	38
Gambar 3.14 Diagram alir eksperimen	39
Gambar 3.15 Alat ukur debit fluida (<i>flow sensor</i>)	40
Gambar 3.16 Tampak atas area uji pada kanal <i>water intake</i>	41
Gambar 3.17 Titik pengambilan data debit aliran pada ketinggian HWL	41
Gambar 3.18 Titik pengambilan data debit aliran pada ketinggian MSL	42
Gambar 3.19 Titik pengambilan data debit aliran pada ketinggian LWL	42
Gambar 4.1 Pengisian kolam uji dengan elevasi HWL	43
Gambar 4.2 Distribusi kecepatan aliran di dalam kanal pada elevasi HWL	47
Gambar 4.3 Distribusi kecepatan aliran di dalam kanal pada elevasi MSL	47
Gambar 4.4 Distribusi kecepatan aliran di dalam kanal pada elevasi LWL	48
Gambar 4.5 Grafik perubahan <i>Reynolds Number</i> terhadap kedalaman pada elevasi HWL	49
Gambar 4.6 Pemetaan pola aliran <i>Reynolds Number</i> pada elevasi HWL= 58 cm	50
Gambar 4.7 Grafik perubahan <i>Reynolds Number</i> terhadap kedalaman pada elevasi MSL	51

Gambar 4.8 Pemetaan pola aliran <i>Reynolds Number</i> pada elevasi MSL= 44.5 cm	52
Gambar 4.9 Grafik perubahan <i>Reynolds Number</i> terhadap kedalaman pada Elevasi LWL	53
Gambar 4.10 Pemetaan pola aliran <i>Reynolds Number</i> pada elevasi LWL= 31 cm	54
Gambar 4.11 <i>Subsurface vortex</i> pada elevasi HWL	55
Gambar 4.12 Pola aliran masuk menuju mulut pompa pada elevasi HWL	55
Gambar 4.13 Penampakan <i>subsurface vortex</i> pada elevasi <i>Mean Sea Level</i> (MSL= 44.5 cm)	56
Gambar 4.14 Penampakan <i>subsurface vortex</i> pada elevasi <i>Low Water Level</i> (LWL= 31 cm)	57
Gambar 4.15 <i>Surface vortex</i> pada elevasi <i>Low Water Level</i> (LWL)	58
Gambar 4.16 <i>Surface vortex</i> pada elevasi 28 cm	60
Gambar 4.17 Proses pembentukan <i>surface vortex</i> pada elevasi 28 cm	60
Gambar 4.18 Pemetaan <i>surface vortex</i> di area sekitar pompa pada elevasi 28 cm	61
Gambar 4.19 Pemetaan <i>surface vortex</i> di area screen elevasi 28 cm	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1a Batas Penerimaan Kecepatan untuk Diameter Corong Inlet “D” berdasarkan standar SI	9
Tabel 2.2 Batas Penerimaan Kecepatan untuk Diameter Corong Inlet “D” berdasarkan standar non-SI	9
Tabel 3.1 Data variasi skala model kolam uji dan spesifikasi pompa	31
Tabel 3.2 Data elevasi pada model uji	32
Tabel 3.3 Spesifikasi model pompa yang tersedia	37
Tabel 4.1 Variasi frekuensi tegangan terhadap debit pada mulut pompa	44
Tabel 4.2 Data debit rata-rata pada setiap elevasi dalam satuan liter/menit	45
Tabel 4.3 Data kecepatan rata-rata pada tiap titik uji dalam satuan meter/detik	46
Tabel 4.4 Nilai bilangan <i>Froude</i> dan <i>Reynolds</i> pada elevasi HWL= 58 cm	49
Tabel 4.5 Nilai bilangan <i>Froude</i> dan <i>Reynolds</i> pada elevasi MSL= 44.5 cm	51
Tabel 4.6 Nilai bilangan <i>Froude</i> dan <i>Reynolds</i> pada elevasi LWL= 31 cm	52
Tabel 4.7 Nilai bilangan <i>Froude</i> pada mulut pompa untuk setiap elevasi	59
Tabel 4.8 Nilai <i>critical submergence</i> pada setiap elevasi	59
Tabel 4.9 Perbandingan <i>Critical Submergence</i> hasil perhitungan dengan uji fisik	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati merupakan pemasok utama kebutuhan listrik Jawa Timur yang terletak di Kabupaten Pasuruan. Kapasitas yang dapat dihasilkan oleh PLTGU Grati saat ini sebesar 760 MW, terdiri dari Blok I sebesar 460 MW dan Blok II sebesar 300 MW. Peningkatan kebutuhan listrik masyarakat Indonesia, khususnya Jawa Timur, membuat pihak PLTGU Grati harus menambah kapasitas produksi listriknya menjadi 1,360 MW. Penambahan kapasitas sebesar 600 MW ini dilakukan dengan cara membangun Blok III dengan kapasitas produksi 450 MW dan menambah kapasitas Blok II sebesar 150 MW. Pada kenyataannya, penambahan kapasitas produksi yang dilakukan pada Blok II ini akan berpengaruh pada sistem-sistem pendukung yang sudah ada, salah satunya adalah struktur *Water Intake* untuk sistem pendingin PLTGU Grati.

Water Intake mempunyai peranan yang penting dalam kelancaran produksi listrik, sistem ini berfungsi untuk memasok air kedalam sistem pendingin pada suatu *Power Plant* dimana air laut akan dipompakan menuju tabung-tabung kondensor agar uap sisa yang berasal dari turbin dapat terkondensasi sehingga fasanya menjadi cair. Komponen utama yang digunakan untuk mengalirkan air pada *Water Intake* ini berupa pompa sentrifugal. Seperti proyek keinsinyuran pada umumnya, perancangan struktur *Water Intake* menggunakan 2 prinsip yaitu meminimalisir biaya yang dikeluarkan dan memaksimalkan efisiensi. Pada kenyataannya, masalah umum yang menyebabkan efisiensi dari sistem ini berkurang adalah terjadinya pola aliran yang tak terduga, seperti aliran *vortex*.

Aliran *vortex* dapat terjadi pada pompa hisap maupun didalam struktur *Water Intake* itu sendiri, aliran *vortex* yang berlebihan dapat menimbulkan dampak yang tidak diharapkan pada *intake* seperti *head losses*, masuknya udara kedalam aliran air yang menyebabkan kavitasi dan getaran pada sistem, meningkatnya rasio pemakaian dari material, serta menurunnya efisiensi aliran

dan menambah kemungkinan kotoran masuk kedalam *intake*. *Vortex* dapat terjadi pada permukaan maupun dibawah permukaan, keduanya dapat diketahui pada keadaan aliran yang *steady* (kecepatan air tidak berubah).

Kondisi pola aliran pada struktur *intake* biasanya diamati dan dipelajari dengan membuat model hidrolik dari struktur tersebut, pemodelan fisik dapat memberikan informasi secara visual dari pola aliran yang terjadi didalam struktur *intake*. Selain itu pemodelan secara numerik juga bisa dilakukan dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Perbandingan antara hasil penelitian oleh CFD dan model fisik sudah banyak dilakukan beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemodelan numerik memiliki tingkat ketelitian yang lebih baik. Meskipun begitu, pemodelan secara fisik dapat memberikan visualisasi fenomena yang kemungkinan terjadi pada kenyataanya.

Pada penelitian kali ini, penulis akan melakukan uji coba model hidrolik dari struktur *Water Intake* yang terdapat di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati, Pasuruan, Jawa Timur. Struktur geometri *intake* secara umum dimodelkan sesuai dengan desain dari PLTGU Grati.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diangkat beberapa permasalahan yakni:

1. Bagaimana pola aliran yang terbentuk di dalam model hidrolik kanal *Water Intake*?
2. Berapa elevasi muka air minimum pada *Water Intake* yang diperbolehkan berdasarkan ketentuan yang diterapkan oleh pedoman desain kanal *Water Intake*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pola aliran yang terbentuk dalam model kanal *Water Intake*.
2. Mengetahui elevasi minimum yang diperbolehkan pada operasional kanal *Water Intake*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat model skala *Water Intake Pump* yang dapat dikembangkan untuk penelitian mengenai pemodelan hidrolis.
2. Menambah pengetahuan mengenai permodelan *Water Intake Pump*.
3. Prosedur dan hasil eksperimen dapat dijadikan bahan untuk pengembangan sistem *Water Intake Pump* di PLTGU Grati.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Model fisik dibuat berdasarkan desain *Circulating Water Pump* di PLTGU Grati Pasuruan, Jawa Timur-Indonesia.
2. Pengujian hanya dilakukan pada separuh bagian kanal.
3. Faktor gelombang laut diabaikan.
4. Model kanal *Water Intake* didesain dengan tidak menggunakan *Anti-vortex*.
5. Kondisi fluida uji merupakan fluida absolute.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar penelitian pada Tugas Akhir yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai, batasan ruang lingkup masalah untuk penelitian dan pembahasan yang difokuskan serta manfaat yang didapatkan dari Tugas Akhir ini.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang dari menjadi acuan dalam pelaksanaan penelitian di Tugas Akhir ini. Sumber yang didapatkan untuk bab ini berasal dari situs jurnal baik lokal maupun internasional, literature, buku baik Tugas Akhir maupun yang relevan dengan topik yang diambil.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mendeskripsikan metodologi yang digunakan dan langkah-langkah pengerjaan yang berdasarkan prosedur yang ditetapkan untuk penelitian pada Tugas Akhir ini.

4. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai langkah-langkah pengolahan data dan analisis berdasarkan metodologi yang telah direncanakan pada bab sebelumnya serta menginterpretasikan atas setiap hasil analisis yang didapatkan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan hasil keseluruhan penelitian yang difokuskan pada Tugas Akhir ini dan saran yang diberikan untuk dapat dilakukan penelitian selanjutnya sehingga menghasilkan suatu pengembangan baru untuk analisis yang lebih mendalam mengenai topik yang relevan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah peneliti melakukan telaah terhadap beberapa penelitian, terdapat beberapa yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan peneliti lakukan.

Penelitian pertama yang menjadi rujukan adalah penelitian dari Johansson, et al. (2005) yang berjudul “*Advancements in Hydraulics Modelling of Cooling Water Pump Intakes in Power Plants*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana sebuah model hidrolik digunakan untuk mengidentifikasi kondisi aliran yang tidak diinginkan dan memperluas modifikasi untuk meningkatkan performa hidrolik untuk *circulating water* dan *cooling water pump intakes*. Pengambilan data dilakukan secara langsung meliputi elevasi muka air, debit pompa, pola aliran, sudut pusaran, profil kecepatan, pembentukan *vortex* dan sedimentasi. Data yang telah didapat kemudian divalidasi terhadap kriteria kelayakan yang ditentukan oleh *Hydraulic Institute Standards (HIS)*.

Penelitian kedua yang menjadi rujukan adalah penelitian dari Moreno (2014) yang berjudul “*Determining Critical Submergence in Tanks by Means of Reynolds & Weber Numbers*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan nilai *submergence* kritis dan efektif menggunakan *Reynold Numbers (Re)* dan *Froude (F)*. Dalam paper ini digunakan beberapa persamaan yang umum digunakan untuk menentukan *critical submergence*, yang kemudian dibandingkan dengan pengolahan data hasil pengujian fisik dari model hidrolik.

Selain penelitian diatas, dalam penelitian ini penulis menggunakan ketentuan-ketentuan yang ditetapkan oleh *Hydraulics Instiute Standard (HIS)*. *Hydraulics Institute Standard* merupakan pedoman yang umum digunakan dalam beberapa penelitian yang berkaitan dengan pemodelan struktur *Water Intake* dan evaluasi performa hidroliknya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Persamaan Model dan Pemilihan Skala

Model hidrolik dari *Water Intake Cooling System* dioperasikan menggunakan hukum kesamaan Froude. Kesamaan geometris tak-terdistorsi mengharuskan bahwa rasio dimensi yang digunakan pada model harus sesuai dengan prototype. Maka dari itu, rasio panjang ditunjukkan oleh persamaan:

$$L_r = L_m/L_p \quad (2.1)$$

Dimana,

L_r = Rasio Panjang

L_m = Panjang pada Model (m)

L_p = Panjang pada Prototipe (m)

Proses aliran pada struktur melibatkan permukaan bebas, pada studi kasus ini, aliran didalam kanal dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya inersia. Oleh karena itu, sangat penting untuk menghitung rasio gaya gravitasi dan inersia dari model ke prototipe. Persamaan ini mengharuskan bahwa *Froude Number*, F , memiliki nilai yang sama antara model dan prototipe:

$$F_r = F_m/F_p = 1 \quad (2.2)$$

$$\text{Dimana, } F = V/(gL)^{0.5} \quad (2.3)$$

Dimana,

V = Kecepatan aliran karakteristik (m/s)

g = Konstanta Gravitasi (m/s^2)

L = Panjang Representatif (m)

Skala rasio untuk kecepatan (V), debit (Q), dan waktu (T) adalah sebagai berikut:

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = L_r^{0.5} \quad (2.4)$$

$$Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = L_r^{2.5} \quad (2.5)$$

Dan,

$$T_r = \frac{T_m}{T_p} = L_r^{0.5} \quad (2.6)$$

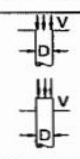
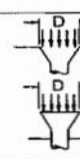

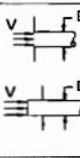
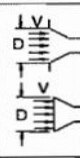
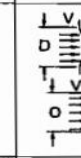
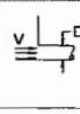
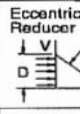
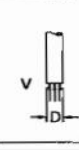

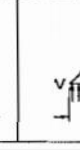
Dengan menggunakan pendekatan Froude, hubungan antara percepatan gravitasi dan gaya inersia dalam aliran terskalakan dengan baik. Penskalaan gaya lainnya seperti kekentalan dan tegangan permukaan dapat diabaikan. Efek penskalaan atau *Scale Effect* dapat digunakan untuk memprediksi pembentukan dan kekuatan *vortex*. Jika model terlalu kecil, tingkat keakuratan dari hasil pengukuran ketinggian air, pusaran dan kecepatan akan sulit untuk ditentukan. Oleh karena itu, pemilihan skala model membutuhkan pertimbangan untuk mengurangi *Scale Effect* selain itu pertimbangan biaya dan operasional juga dibutuhkan.

2.2.2 Batas-Batas Model dan Detail Internal

2.2.2.1 Penyeragaman Inflow dan Outflow

Aliran di dalam kanal harus tetap seragam untuk mengurangi kesalahan pada hasil pengujian. Hal yang harus dipastikan adalah debit air yang keluar melalui pompa (*outflow*) seragam dengan debit air yang masuk (*inflow*), atau dengan memilih tipe *inlet* dan *outlet* yang seragam pula.

Aliran masuk yang ideal pada *inlet* pompa harus berupa distribusi kecepatan yang seragam, stabil, dan tanpa adanya rotasi pada aliran. Hal tersebut dapat dicapai dengan memperhatikan panjang pipa serta tipe dan lokasi peletakkan sistem pipa penghisap pada pompa.

Direction of Tank Outlet	Type of Outlet Fitting (Straight, Cone, or Bell)		
	a) Straight	b) Cone	c) Bell
5) Vertically Downwards (Bottom) Outlet			
6) Horizontal, (Side) Outlet			
7) Horizontal, (Bottom) Outlet			
8) Vertically Upwards			

Gambar 2.1 Tipe-tipe pipa *inlet* dan *outlet* yang lazim digunakan pada *Intake Structure* (Hydraulics Institute Standard, 1998)

Desain *inlet* dan *outlet* pada perencanaan struktur kanal *Water Intake* sangat mempengaruhi aliran di dalam kanal, desain yang lazim digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.1 dimana terdapat beberapa tipe berdasarkan posisi pemasangan dari corong *inlet* maupun *outlet*. Efek dari kondisi aliran yang terganggu (*disturbed flow*) pada ujung pipa penghisap cenderung akan berkurang terhadap jarak. Pipa penghisap yang pendek kurang efektif untuk menghilangkan gangguan sebelum aliran mencapai pompa. Selain mempertimbangkan desain *inlet* dan *outlet* pompa, kecepatan aliran yang masuk ke dalam pompa juga harus memenuhi kriteria seperti yang telah ditetapkan dalam *Hydraulics Institute Standard (HIS)*.

Tabel 2.1 Batas penerimaan kecepatan untuk diameter corong inlet “D” berdasarkan standar SI

Debit Pompa Q, l/s	Rekomendasi Kecepatan Desain pada Corong <i>Inlet</i> , m/s	Batas Kriteria Penerimaan, m/s
< 315	V = 1.7	$0.6 \leq V \leq 2.7$
$\geq 315 < 1260$	V = 1.7	$0.9 \leq V \leq 2.4$
≥ 1260	V = 1.7	$1.2 \leq V \leq 2.1$

Catatan : Perhitungan berdasarkan persamaan $D = [Q/(785V)]^{0.5}$

Tabel 2.2 Batas penerimaan kecepatan untuk diameter corong inlet “D” berdasarkan standar non-SI

Debit Pompa Q, gpm	Rekomendasi Kecepatan Desain pada Corong <i>Inlet</i> , ft/s	Batas Kriteria Penerimaan, ft/s
< 5000	V = 5.5	$2 \leq V \leq 9$
$\geq 5000 < 20.000$	V = 5.5	$3 \leq V \leq 8$
≥ 20.000	V = 5.5	$4 \leq V \leq 7$

Catatan : Perhitungan berdasarkan persamaan $D = (0.409Q/V)^{0.5}$

Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 menunjukkan batas-batas kecepatan aliran di dalam kanal dan rekomendasi kecepatan pada mulut pompa berdasarkan debit pompa pada kanal. Penerapan batas-batas kecepatan tersebut bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadi pola aliran yang tidak diinginkan.

2.2.2.2 Sistem Penyaringan (*Screen*)

Sampah dan objek-objek yang terangkut merupakan salah satu permasalahan yang harus dibatasi pada struktur *intake*, oleh karena itu dibutuhkan sistem penyaringan pada struktur *intake* yang dibangun. Simulasi yang baik dari geometri *screen* sangat penting karena penambahan struktur tersebut akan mempengaruhi pola aliran menuju pompa. Penskalaan *screen* dilakukan dengan cara membandingkan koefisien *head loss* dari model dan prototipe untuk kecepatan tertentu (*Hydraulics Institute, 1998*).

Pemodelan geometri *screen* akan mempengaruhi distribusi aliran dibawah *screen*, area terbuka dari *screen* dan koefisien *loss screen*, K , dimana K didefinisikan sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta H}{u^2/2g} \quad (2.7)$$

Dimana,

K = Koefisien *loss*

ΔH = *Screen head loss*

U = Kecepatan aliran

2.2.3 Sifat-sifat Fluida

2.2.3.1 Massa Jenis Fluida

Massa jenis fluida didefinisikan sebagai rasio dari massa fluida terhadap volumenya, massa jenis dinotasikan menggunakan simbol ρ (*rho*). Satuan dari massa jenis dalam standar internasional (SI) adalah kilogram per meter kubik (kg/m^3). Massa jenis ini dapat dinyatakan konstan ketika tekanan dan suhu fluida berubah. Secara matematis, massa jenis dituliskan sebagai

$$\rho = \frac{\text{Massa fluida}}{\text{Volume fluida}} \quad (2.8)$$

Nilai massa jenis dari air adalah 1 gr/cm^3 atau 1000 kg/m^3 .

2.2.3.2 Berat Spesifik atau Berat Jenis dan Volume Spesifik

Berat spesifik atau berat jenis fluida merupakan rasio antara berat fluida terhadap volumenya. Berat jenis dinotasikan menggunakan symbol w , secara matematis dapat dinyatakan,

$$w = \frac{\text{Berat fluida}}{\text{Volume Fluida}} = \frac{(\text{Massa fluida}) \times (\text{Percepatan gravitasi})}{\text{Volume fluida}}$$

$$w = \rho g \quad (2.9)$$

Nilai dari berat jenis air dalam satuan SI adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

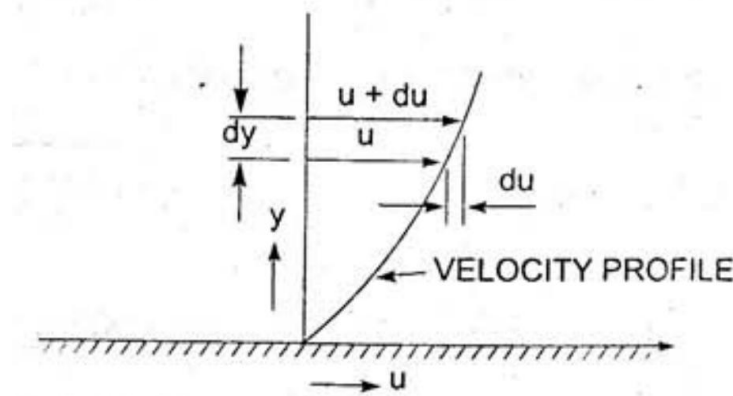
Selain berat jenis, terdapat juga volume spesifik. Volume spesifik dalam fluida didefinisikan sebagai volume fluida yang dicakup dalam satu unit massa atau volume per unit masa. Secara matematis, volume spesifik dapat diekspresikan sebagai,

$$\text{Specific Volume} = \frac{\text{Volume fluida}}{\text{Massa fluida}} = \frac{1}{\rho} \quad (2.10)$$

Volume spesifik diatas diekspresikan sebagai m³/kg yang biasa diaplikasikan pada gas.

2.2.4 Kekentalan (Viskositas)

Viskositas didefinisikan sebagai sifat fluida yang memberikan dampak pada pergerakan satu lapisan fluida terhadap lapisan lainnya yang saling berdekatan.



Gambar 2.2 Profil pergerakan fluida disekitar batas solid

Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi pergerakan fluida ketika bersentuhan dengan batas solid. Ketika dua lapisan, yang terpisah dengan jarak “dy”, bergerak satu sama lain dengan laju yang berbeda, misal u dan $u + du$, viskositas dan kecepatan relatif akan menyebabkan gaya gesekan antar lapisan fluida.

Viskositas kinematis didefinisikan sebagai rasio antara viskositas dinamis dengan massa jenis fluida. Viskositas kinematis memiliki symbol “ ν ” atau “ ν ” yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai

$$\nu = \frac{\text{Viskositas}}{\text{Massa jenis fluida}} = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.11)$$

Dalam standar MKS dan SI, satuan dari viskositas kinematis adalah m^2/s dimana dalam satuan CGS ditulis sebagai cm^2/s , viskositas kinematis juga dinyatakan dalam *stoke* dimana $1 \text{ stoke} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.2.5 Klasifikasi Aliran Fluida

Aliran fluida yang melewati sistem atau instalasi pipa maka akan terjadi penghambatan aliran, hambatan tersebut diakibatkan oleh faktor-faktor instalasi pipa. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dari fluida tersebut yang sering disebut dengan kerugian tekanan (*head loss*) atau penurunan tekanan (*pressure drop*). Kedua faktor ini merupakan pengaruh gesekan fluida (*friction loss*) dan perubahan pola aliran yang terjadi akibat bentuk geometri struktur yang dialiri fluida. Ketika pipa utama dialiri fluida yang bersifat turbulen, maka fluida dalam pipa akan mengalami perubahan pola aliran (*pulsasi*) yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang meningkat dan tekanan menurun.

Didasarkan pada tinjauan tertentu, aliran fluida dapat diklasifikasikan dalam beberapa golongan. Dalam ulasan ini, fluida yang lebih banyak dibahas adalah air (*incompressible fluids*) dan dibagi menjadi 8 golongan antara lain:

1. Aliran tak termampatkan (*incompressible*) dan termampatkan (*compressible*)

Aliran tak termampatkan adalah kondisi aliran dimana rapat massa fluidanya tidak berubah, contohnya adalah air, minyak, dll. Aliran termampatkan adalah kondisi aliran dimana rapat massa fluidanya berubah. Contohnya adalah gas. Pada fluida jenis ini berlaku hukum termodinamika.

2. Aliran tunak (*steady*) dan tak tunak (*unsteady*)

Aliran tunak atau aliran permanen (*permanent flow*) adalah kondisi dimana komponen aliran tidak berubah terhadap waktu. Contohnya adalah aliran di saluran/sungai pada kondisi tidak ada perubahan aliran (tidak ada hujan, tidak banjir, dll). Kondisi tersebut dinyatakan dalam persamaan matematika berikut :

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 0; f = (v, p, \rho, h, Q) \quad (2.12)$$

Dimana,

∂f = Perubahan komponen aliran

∂t = Perubahan waktu

f = Komponen aliran (viskositas, tekanan, rapat massa, kedalaman, debit, dll.)

Aliran tak tunak atau aliran tidak permanen (*impermanent flow*) adalah kondisi dimana komponen aliran berubah terhadap waktu. Contoh aliran di saluran/sungai pada kondisi ada perubahan aliran (ada hujan, ada banjir, dll) atau aliran yang dipengaruhi muka air pasang-surut (muara sungai di laut) . Kondisi tersebut dinyatakan dalam persamaan matematika berikut :

$$\frac{\partial f}{\partial t} \neq 0 \quad (2.13)$$



Gambar 2.3 Aliran *unsteady*

Ilustrasi visual untuk kasus sederhana ditampilkan pada gambar diatas. Gambar 2.3 menunjukkan elevasi muka air mengalami peningkatan pada saat aliran bergerak dari t_1 menuju t_2 , maka aliran tersebut merupakan aliran tak tunak atau *unsteady flow*. Jika elevasi tidak berubah ketika pergerakan aliran dari t_1 menuju t_2 , maka aliran tersebut merupakan aliran tunak atau *steady form*.

3. Aliran seragam (*uniform flow*) dan tak seragam (*non-uniform flow*)

Aliran seragam adalah kondisi dimana komponen aliran tidak berubah terhadap jarak. Contoh aliran di saluran/sungai pada kondisi tidak ada pengaruh pembendungan/terjunan, tidak ada penyempitan/pelebaran yang ekstrim.

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 0; f = (v, p, \rho, h, Q) \quad (2.14)$$

Dimana,

∂f = Perubahan komponen aliran

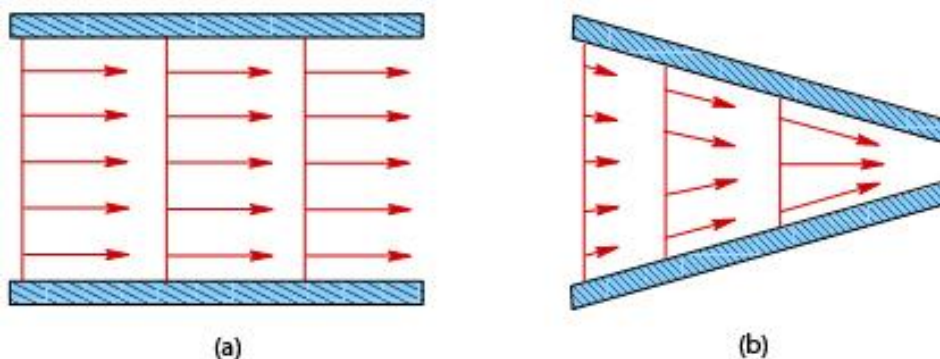
∂x = Perubahan jarak

f = Komponen aliran (viskositas, tekanan, rapat massa, kedalaman, debit, dll.)

Aliran tidak seragam (*non-uniform flow*) adalah kondisi dimana komponen aliran berubah terhadap jarak. Contoh aliran di saluran/sungai pada kondisi ada pengaruh pembendungan/terjunan, ada penyempitan/pelebaran yang ekstrim.

$$\frac{\partial f}{\partial t} \neq 0 \quad (2.15)$$

Ilustrasi visual untuk kasus sederhana ditampilkan pada gambar di bawah ini;

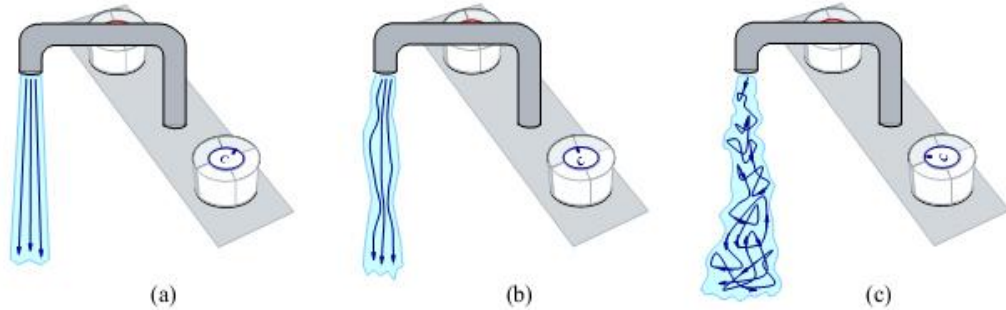


Gambar 2.4 (a) Kondisi aliran seragam dan; (b) Kondisi aliran tidak seragam
(McDonough, 2009)

Pada Gambar 2.4a aliran mengalir sejajar dengan struktur kanal dan arah aliran pada saluran tidak berubah, kondisi seperti ini disebut sebagai aliran seragam. Sedangkan aliran yang ditunjukkan pada Gambar 2.4b dipengaruhi oleh bentuk struktur yang mengerucut sehingga arah aliran berbelok mengikuti bentuk dari struktur saluran.

4. Aliran laminar dan turbulen

Fenomena aliran jenis ini dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, aliran air pada keran mungkin yang paling sering kita jumpai.

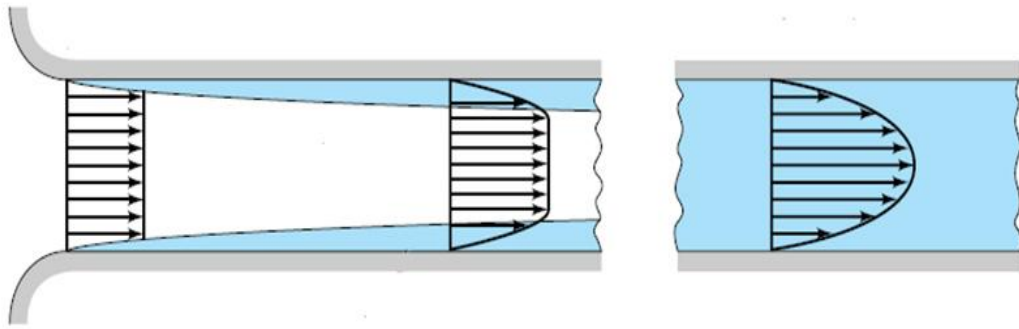


Gambar 2.5 Aliran laminar, transisi dan turbulen

Gambar 2.5a merupakan keran air yang dibuka saat awal (bukaan kecil) sehingga air yang mengalir kecepatannya kecil, pada kondisi ini terjadi aliran laminar. Kecepatan air meningkat pada Gambar 2.5b dan Gambar 2.5c sehingga aliran air berubah menjadi turbulen. Dari sudut pandang hidraulik, hal yang paling mudah untuk membedakannya adalah gerak partikel/distribusi kecepatannya seragam, lurus, dan sejajar untuk aliran laminar dan sebaliknya untuk aliran turbulen. Perubahan dari laminar menuju turbulen atau zona transisi terjadi pada jarak tertentu dan zona transisi akan berakhir hingga terjadi kondisi '*fully developed turbulence*'.



Gambar 2.6 Distribusi kecepatan pada saluran terbuka



Gambar 2.7 Distribusi kecepatan pada saluran tertutup

Gambar 2.6 dan 2.7 merupakan ilustrasi distribusi kecepatan pada aliran terbuka dan tertutup. Kecepatan aliran pada permukaan saluran terbuka sama dengan kecepatan awal saat fluida tersebut memasuki saluran seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6, kemudian semakin mendekati bagian dasar saluran kecepatan mulai berkurang sedikit demi sedikit. Hal ini disebabkan oleh viskositas fluida sehingga menimbulkan gaya gesek antara fluida dengan benda solid pada bagian dasar saluran. Sedangkan pada saluran tertutup, gaya gesek terjadi pada dinding-dinding saluran sehingga aliran membentuk lengkung kedepan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Dalam menentukan aliran tersebut laminar atau turbulen biasanya digunakan angka *Reynolds* sebagai acuannya, dimana:

- Aliran Terbuka
 $Re < 2000$, Laminar
 $Re > 12500$, Turbulen
- Aliran Tertutup
 $Re < 2300$, Laminar
 $Re > 2900$, Turbulen

diantara rentang diatas merupakan kondisi transisi. Pada kondisi aliran laminar, pengaruh viskositas lebih besar daripada inersia dan kondisi sebaliknya untuk aliran turbulen.

5. Aliran *viscous* dan *inviscid*

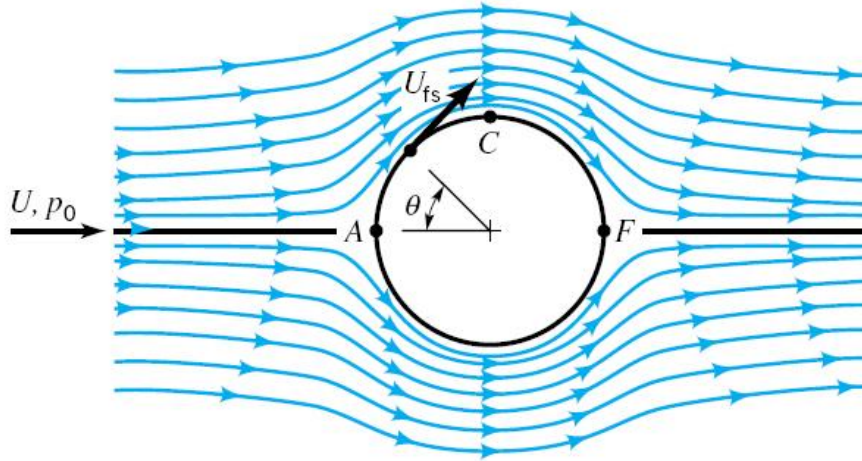
Aliran *viscous* atau aliran fluida nyata adalah aliran yang dipengaruhi oleh viskositas. Adanya viskositas menyebabkan adanya tegangan geser dan kehilangan energi. Pada aliran ini terjadi gesekan antara fluida dengan dasar/dinding saluran atau pipa.



Gambar 2.8 Aliran *viscous* melalui sebuah pilar silinder (Yulistiyanto, 2012)

Gambar 2.8 menunjukkan aliran yang terbentuk dari beberapa jenis fluida dengan viskositas yang berbeda ketika ditabrakkan dengan sebuah pilar silinder. Terlihat dengan jelas bahwa aliran membentuk sebuah lapisan dimana kecepatan aliran berkurang ketika bertabrakkan dengan benda solid, lapisan ini disebut dengan *boundary layer*. Ketebalan dari *boundary layer* biasanya didefinisikan sebagai jarak dari bidang solid terhadap titik dimana kecepatan aliran sama dengan 99% dari kecepatan *freestream*. Dalam kasus ini aliran terbagi menjadi dua area: satu merupakan aliran yang terdapat di dalam *boundary layer*, aliran ini didominasi oleh viskositas dan menimbulkan gaya dorong terhadap bidang solid; dan yang kedua aliran di luar *boundary layer*, dimana viskositas tidak berpengaruh dan dapat diabaikan.

Aliran *inviscid* atau aliran fluida ideal adalah aliran yang tidak dipengaruhi viskositas/kekentalan sehingga aliran ini tidak memiliki tegangan geser dan kehilangan energi. Dalam kenyataannya aliran fluida ideal tidak ada. Konsep ini digunakan para peneliti terdahulu untuk membentuk persamaan aliran fluida dan pengaplikasiannya di lapangan ditambahkan faktor penyesuaian sesuai kondisi nyata.



Gambar 2.9 Aliran *inviscid* melalui sebuah pilar silinder (Yulistiyanto, 2012)

Gambar 2.9 merupakan ilustrasi bentuk aliran *inviscid* ketika menabrak benda solid. Berbeda dengan aliran viskos yang membentuk *boundary layer* ketika menabrak benda solid, aliran *inviscid* memiliki pola aliran yang tidak berubah.

6. Aliran berotasi (*rotational flow*) dan Aliran tak berotasi (*irrotational flow*)

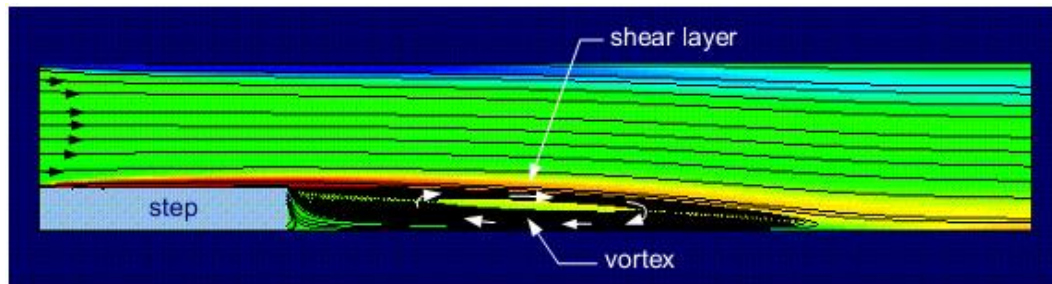
Aliran irrotasional adalah aliran dimana nilai rotasinya atau setiap komponen vektor rotasinya sama dengan nol. Contoh aliran irrotasional adalah medan aliran pada aliran seragam. Penjabaran matematisnya disajikan pada persamaan berikut:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2} \nabla \times \mathbf{V} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & v & w \end{vmatrix} = 0$$

$$\boldsymbol{\Omega} = 2\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{V} \quad (2.16)$$

Omega (Ω) sering dinotasikan sebagai vortisitas (*vorticity*), sehingga didefinisikan sebagai sebuah vektor yang nilainya dua kalinya vektor rotasi.

Sedangkan aliran rotasional adalah aliran dimana nilai rotasinya atau setiap komponen vektor rotasinya tidak sama dengan nol. Hal ini berarti medan aliran dengan kecepatan vektor V atau $\text{curl } V$ tidak sama dengan nol. Contoh dari aliran rotasional ditampilkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.10 Aliran berotasi (McDonough, 2009)

Pada Gambar 2.10 tampak terjadi pusaran/*vortex* yang disebabkan ketidakseragaman aliran oleh perubahan penampang akibat terjunan. Namun jauh dari terjunan, aliran masih seragam sehingga aliran irrotasional.

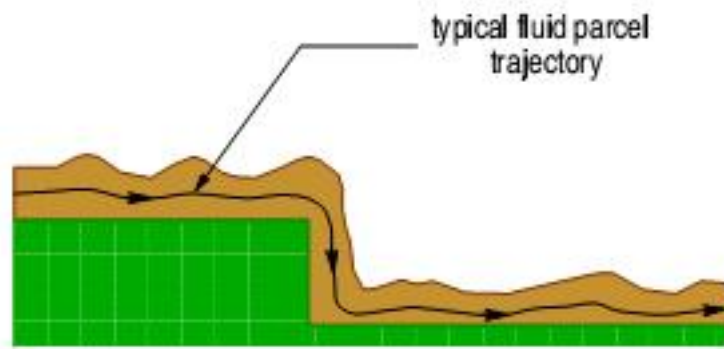
7. Aliran subkritis dan super kritis

Untuk membedakan jenis aliran pada klasifikasi ini sering digunakan Angka Froude. Angka Froude diperoleh melalui persamaan 2.3 dan merupakan bilangan tak berdimensi. Setelah mendapatkan Angka *Froude*, penentuan jenis aliran melalui rentang berikut,

- $F < 1$, aliran sub-kritis
- $F > 1$, aliran super-kritis
- $F = 1$, aliran kritis

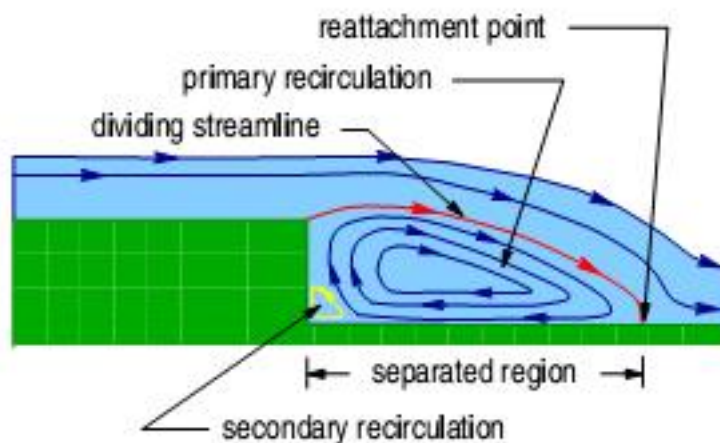
8. Aliran yang terpisahkan (*separated flow*) dan tak terpisahkan (*unseparated flow*)

Aliran yang tidak terjadi separasi dapat terjadi pada aliran yang sangat lambat. Penjelasan mengenai fenomena ini ditampilkan melalui gambar dibawah ini.



Gambar 2.11 *Unseparated flow* (McDonough, 2009)

Gambar 2.11 mengilustrasikan sebuah percobaan sejumlah cairan sirup (viskositas tinggi) dengan suhu rendah yang melampaui flume dengan beda tinggi dasar tertentu dengan kecepatan sangat rendah. Saat mencapai pojok *flume*, cairan sirup tetap mengikuti dasar *flume*, turun vertikal dan tetap menempel hingga akhir. Fenomena ini disebabkan momentum yang sangat kecil pada pojok dasar *flume* yang diakibatkan kecepatan yang sangat rendah.



Gambar 2.12 *Separated flow* (McDonough, 2009)

Sedangkan aliran yang terjadi separasi ditampilkan sketsa pada Gambar 2.12. Fluida dengan nilai viskositas kecil atau kecepatan tinggi menimbulkan momentum yang tinggi, sehingga sulit bagi aliran untuk ‘menempel’ pada dasar saluran. Pada Gambar 2.12 juga mengilustrasikan aliran rotasional yang telah dijelaskan sebelumnya.

2.2.6 Reynolds Number

Salah satu besaran non-dimensional yang menggambarkan pola aliran fluida adalah bilangan *Reynolds*. Reynolds (1883) menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter; kerapatan (ρ), kecepatan (V), diameter (D) dan viskositas kinematis (μ). Aliran fluida dalam pipa terbagi menjadi dua; yaitu aliran laminar dan turbulen. Aliran laminar terjadi pada bilangan *Reynolds* yang rendah dimana gaya ikatan antar partikel fluida lebih dominan, aliran ini biasanya memiliki karakter aliran yang tenang dan gerak aliran konstan. Sedangkan aliran turbulen terjadi pada bilangan *Reynolds* tinggi dan didominasi oleh gaya inersia fluida yang cenderung menghasilkan aliran yang kacau, *vortex* dan ketidakstabilan aliran lainnya. Bilangan *Reynolds* dapat mendefinisikan kedua aliran tersebut, dengan persamaan :

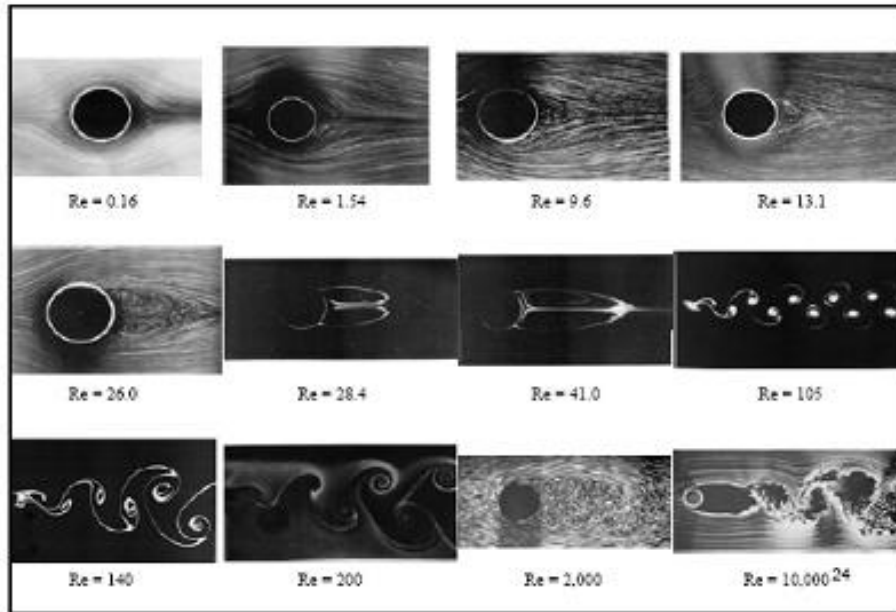
$$Re = \frac{\text{Inertia Force}}{\text{viscous force}} = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{V.D}{\nu} \quad (2.17)$$

Dimana,

- ρ = Kerapatan massa fluida (kg/m^3)
- V = Kecepatan karakteristik (m/s)
- d = Diameter saluran (m)
- μ = viskositas (kg/m.s)

Didalam aliran fluida terdapat area dimana terjadi perbedaan kecepatan aliran yang disebut dengan lapisan batas atau *boundary layer*. Sebuah penelitian yang dilakukan pada pelat datar menyatakan bahwa setelah beberapa jarak aliran tertentu, batas aliran laminar akan berubah menjadi tidak stabil dan turbulen.

Untuk aliran di dalam pipa dengan diameter D , hasil eksperimen menunjukan aliran laminar terjadi ketika $Re_D < 2300$ dan aliran turbulen terjadi ketika nilai $Re_D > 2900$. Aliran diantara nilai *Reynold* tersebut akan membentuk aliran transisi dari laminar ke turbulen.



Gambar 2.13 Klasifikasi Pola Aliran Berdasarkan *Reynold Number* (Chi, 2009)

Gambar 2.13 menunjukkan hasil observasi yang dilakukan oleh *Chi* (2009) untuk mengamati perubahan pola aliran berdasarkan bilangan *Reynolds*. Pada rentang $Re = 0.16$ sampai dengan $Re = 200$ pola aliran yang terbentuk masih beraturan. Pola aliran semakin acak seiring dengan meningkatnya bilangan *Reynolds*.

2.2.7 Kecepatan Aliran Balik (*Cross-flow*)

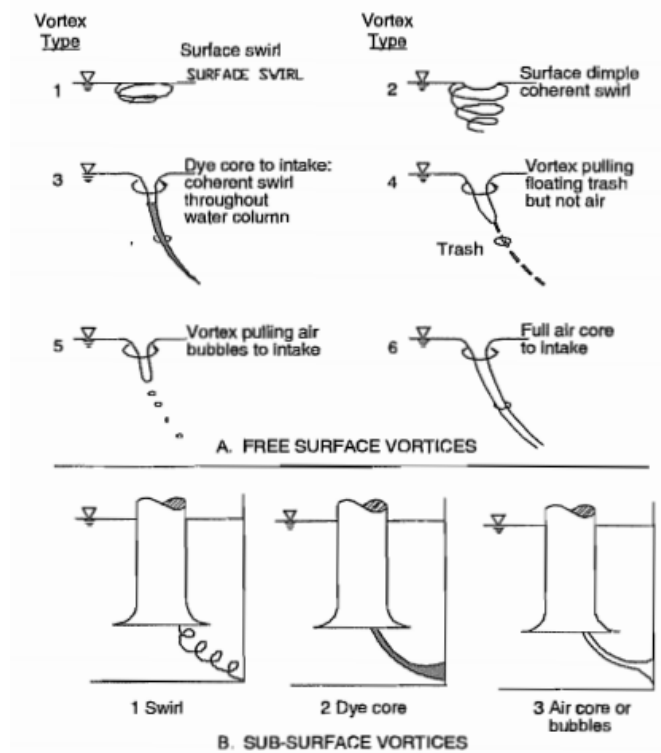
Aliran balik (*crossflow*) merupakan aliran yang bergerak berlawanan dengan arah aliran utama, aliran ini umum terjadi pada area yang terbatas. Pada instalasi struktur pantai, aliran balik harus diperhatikan karena akan memperbesar kemungkinan terjadinya *vortex* dan pengendapan sedimen. Menurut *HIS*, kecepatan aliran balik harus kurang dari 25% dari kecepatan pada mulut pompa. Jika kotoran dan sedimen bukan merupakan masalah maka jarak mulut pompa dari dasar (*clearance*) harus berada pada 0.3 sampai 0.5 D, dan jika sedimen merupakan masalah pada pemodelan maka *clearance* minimal yang dianjurkan adalah 5D (*HIS*, 1998).

2.2.8 Pusaran (*Vortex*)

Vortex diartikan sebagai wilayah dalam aliran yang berotasi mengelilingi sebuah sumbu yang dapat berbentuk pusaran lurus maupun lenkung. Pembentukan *vortex* terjadi karena transisi yang tak beraturan dari aliran kanal terbuka (permukaan bebas) menuju aliran bertekanan. Ketika aliran tidak bisa mempertahankan transisi bertahap yang berfungsi menjaga distribusi dan percepatan kecepatan tetap seragam, maka *vortex* dapat terjadi (Bottazzi, Floreale dan Molina. 2007). Modifikasi lain untuk pola aliran yang disebabkan oleh angin, gelombang, es, puing, atau turbulensi juga dapat menghasilkan vortisitas, atau sebaliknya dapat menyebabkan pengurangan dalam pembentukan *vortex*. Beberapa penelitian terkemuka yang membahas mengenai pembentukan *vortex* mengindikasikan *Froude Number* (*Fr*) merupakan parameter paling dominan yang mempengaruhi intensitas *vortex* (Gullick, dkk.2014).

Permasalahan yang berkaitan dengan *vortex* sangat beragam diantaranya adalah vibrasi, gelombang, penurunan efisiensi, kerusakan struktural, kavitasi, penurunan aliran, risiko keselamatan, kebisingan, kinerja pompa yang tidak seimbang, kerusakan akibat kotoran yang masuk kedalam pompa, dan lain sebagainya. Klasifikasi *vortex* sangat beragam tetapi menurut Durgin dan Anderson (1972) mengungkapkan terdapat 6 jenis *vortex* berdasarkan kekuatan pusarannya, diantaranya:

1. Pusaran sangat lemah tanpa depresi permukaan yang dapat diamati.
2. Pusaran jelas pada permukaan dengan depresi yang kecil.
3. Inti *vortex* masuk kedalam struktur *intake* dapat diamati dengan pewarna.
4. *Vortex* yang tidak membawa udara kedalam aliran, tetapi dapat membawa kotoran pada permukaan kedalam *intake*.
5. *Vortex* yang menimbulkan gelembung udara memasuki struktur *intake*.
6. *Vortex* inti udara yang berkembang penuh.



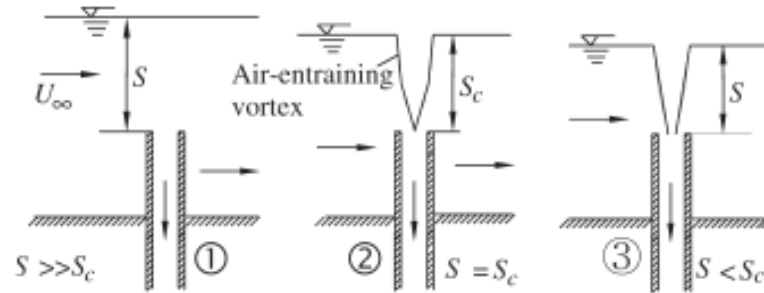
Gambar 2.14 Tipe Vortex (*Hydraulics Institute Standards, 1998*)

Gambar 2.14 merupakan klasifikasi *vortex* berdasarkan kekuatan pusarannya. Secara umum *vortex* yang terjadi dalam aliran terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *vortex* yang pusarannya timbul ke permukaan (*surface vortex*) dan *vortex* yang pusarannya terjadi di bawah permukaan air (*subsurface vortex*). Menurut *Hydraulics Institute*, kriteria *vortex* yang terbentuk selama pengujian model hidrolik yaitu tidak boleh melebihi tipe *dye core vortex* (tipe 3 untuk *vortex* permukaan dan tipe 2 untuk *vortex* dibawah permukaan). *Dye core vortex* bisa diterima hanya jika itu muncul kurang dari 10% dari waktu pengamatan atau hanya pada kondisi operasi pompa tertentu (*HIS, 1998*). Batas serupa juga direkomendasikan oleh Bauer (1997) dimana standar yang diperbolehkan untuk operasi pompa adalah kedalaman pusaran pada permukaan tidak boleh melebihi 0,3 ft dan kurang dari 5 RPM.

2.2.9 Submergence (S)

Submergence (S) merupakan besaran yang menyatakan jarak antara elevasi muka air dan mulut pompa. *Submergence* umum digunakan dalam memprediksi terbentuknya pusaran air atau *vortex*, faktor ini dinyatakan dalam

bentuk *Critical Submergence* (S_c). Bentuk *critical submergence* didefinisikan oleh Jain et al. (1978) sebagai kedalaman terkecil dimana pusaran kuat dan tak diinginkan tidak terjadi. Jika *submergence* lebih kecil dari nilai S_c , maka *vortex* akan terbentuk, akan tetapi argumen tersebut tidak selalu benar selama *vortex* dapat terbentuk meskipun itu dapat dimaklumi.



Gambar 2.15 *Critical submergence* pada *Water Intake*

Seperti tunjukkan pada Gambar 2.15, kondisi *critical submergence* terpenuhi ketika terdapat *vortex* yang membawa udara masuk ke dalam mulut pompa. Untuk bentuk geometri *Water Intake* yang umum dan pendekatan aliran yang seragam (nilai parameter sirkulasi aliran yang rendah), data dan pengalaman dalam hal pengujian *Water Intake* menunjukkan bahwa hubungan antara *submergence* dan *Froude Number* berikut ini sesuai dengan jenis *vortex* yang dapat diterima (Hecker, 1981).

$$S/D = 1.0 + 2.3F_D \quad 2.15$$

Dimana,

S = *Submergence* (m)

D = Diameter lubang *inlet* (m)

F_D = *Froude Number*

V = Kecepatan pada inlet

Persamaan ini mengindikasikan bahwa *submergence* relatif, S/D , meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan pada *inlet*. Hal ini masuk akal, karena kecepatan *inlet* menimbulkan energi yang akan berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan *vortex*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada sub bab ini akan dijelaskan bagaimana tahapan-tahapan yang dilakukan dalam selama penelitian untuk mencapai tujuan-tujuan yang diharapkan, tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Proses pencarian literatur pendukung penelitian berupa buku, jurnal atau tugas akhir yang berhubungan dengan pokok permasalahan yang akan ditinjau.

2. Pembuatan Model Fisik

Model kanal *Water Intake* dibuat berdasarkan desain sesungguhnya dari PLTGU Grati. Proses pembuatan model uji dilakukan oleh tim peneliti Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

3. Pengujian Model

Tahapan pengujian model ini bertujuan untuk memeriksa semua komponen pada model berfungsi dengan baik dan tidak ada kebocoran pada struktur kanal *intake* sehingga tidak mengganggu ketika proses eksperimen.

4. Eksperimen

Eksperimen dilakukan di Laboratorium *Flume Tank* Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Eksperimen dilakukan sebanyak tiga kali dalam jangka waktu tiga bulan. Adapun data-data yang diambil selama eksperimen yaitu kecepatan aliran fluida, tekanan fluida dan pembentukan *vortex*.

5. Dokumentasi Visual

Setiap proses yang dilakukan dalam tahap eksperimen harus terekam berupa dokumentasi visual. Hal ini bertujuan memudahkan pembuatan laporan akhir pengujian.

6. Pengolahan Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian diolah untuk mendapatkan hasil yang diperlukan diantaranya yaitu kecepatan rata-rata, debit rata-rata, dan tekanan

karakteristik aliran. Dalam proses pengolahan data ini, penulis menggunakan *MS. Excel* sebagai *software* pendukung.

Langkah selanjutnya adalah menghitung bilangan *Froude* dan *Reynolds* menggunakan Persamaan 2.3 dan 2.17 dengan input data hasil pengujian. Setelah mengetahui besar bilangan *Froude* dan *Reynold* pada fluida uji maka kita dapat mengetahui pola aliran dalam kanal dan juga memprediksi apakah terjadi pembentukan *vortex* atau tidak.

7. Validasi Hasil Eksperimen dengan Pedoman Desain *Water Intake*

HIS (*Hydraulics Institute Standard*) memiliki kriteria kelayakan performa model hidrolik yang menentukan apakah model uji tersebut layak atau tidak untuk direalisasikan. Salah satu faktor penentunya yaitu *vortex*.

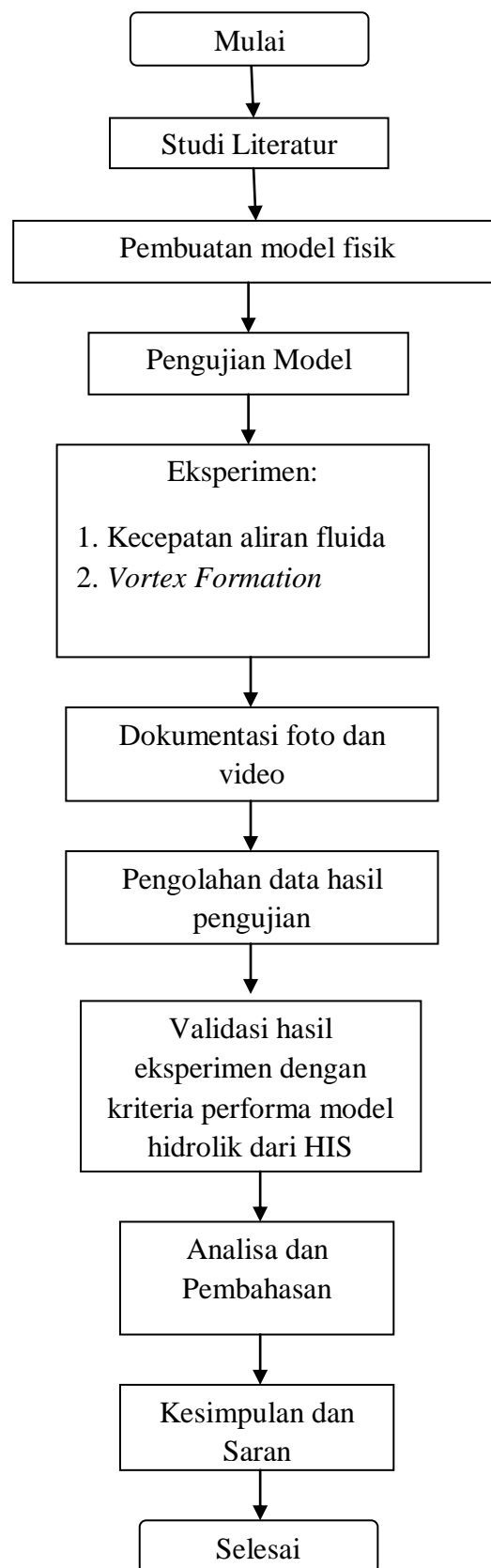
8. Analisa dan Pembahasan

Menganalisa bagaimana pola aliran yang terbentuk dan juga kelayakan performa dari model uji.

9. Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan dari hasil akhir penelitian dan memberikan saran berupa parameter-parameter apa yang harus dikaji ulang atau lebih lanjut dalam penelitian-penelitian berikutnya.

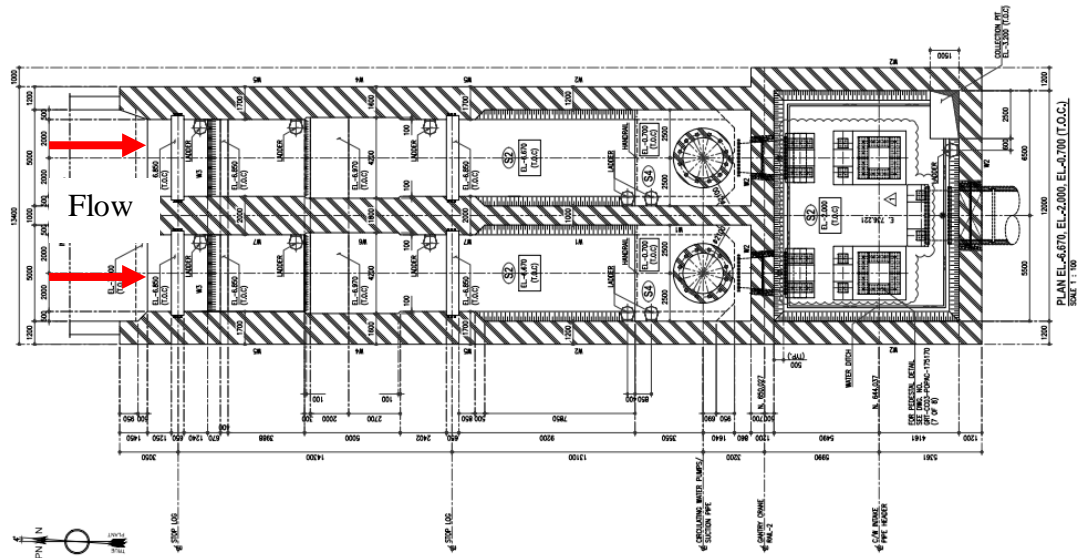
Dari uraian diatas maka secara keseluruhan tahapan-tahapan peneltian dapat dirangkum dalam sebuah diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

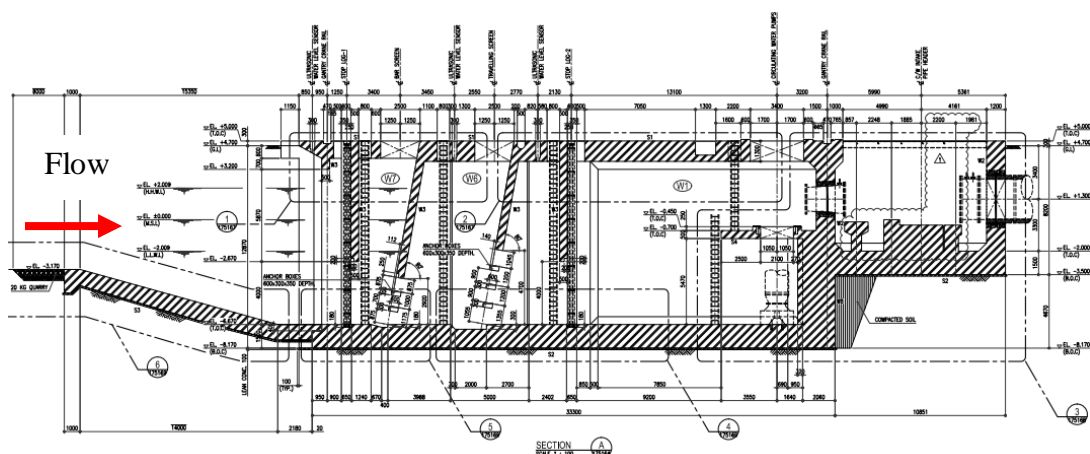
3.2 Pembuatan Model Uji

Secara umum, desain kolam intake yang dibangun berdasarkan kepada data GRT-CC03-P0PAC-175164_R1 dengan penampang tampak atas dan GRT-CC03-P0PAC-175165_R1 dengan penampang tampak samping.



Gambar 3.2 Detail kolam tampak atas (GRT-CC03-P0PAC-175164_R1)

Gambar 3.2 menunjukkan detail tampak atas dari struktur *Water Intake* PLTGU Grati, dimana dimensi kolam memiliki panjang 33.3 meter x lebar 13.4 meter x tinggi 11.67 meter. Struktur kanal terbagi menjadi dua bagian yang simetris, dimana setiap bagian dioperasikan dengan pompa yang memiliki *flowrate* sebesar $25000 \text{ m}^3/\text{h}$.



Gambar 3.3 Detail kolam tampak samping (GRT-CC03-P0PAC-175165_R1)

Gambar 3.3 menunjukkan detail tampak samping dari struktur *Water Intake* PLTGU Grati. Dimana terdapat dua pasang *screen* yang terinstal pada kanal yaitu *bar screen* dan *travelling screen*.

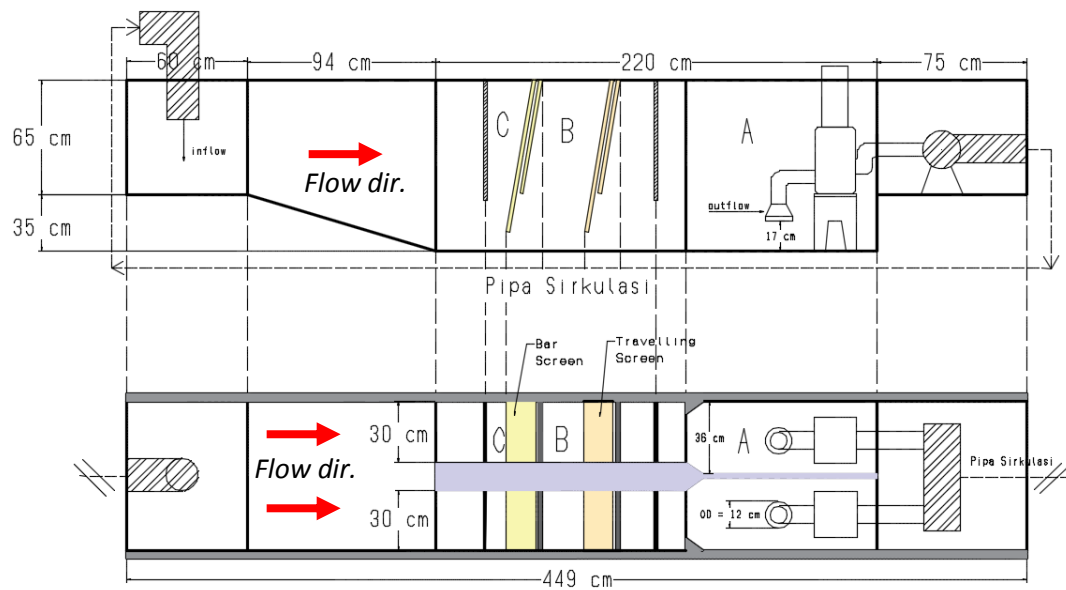
3.2.1 Penentuan Skala Model

Model dibangun dengan skala 1:15 menggunakan material baja sebagai rangka struktur dan kaca transparan sebagai dinding nya. Dengan menggunakan persamaan Froude maka didapatkan data ukuran sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data variasi skala model kolam uji dan spesifikasi pompa

No.	Skala	Dimensi Kolam (m)			Skala	Spesifikasi Pompa	
		Panjang	Lebar	Tinggi		Debit (m ³ /h)	Speed (rpm)
1	1	33.30	13.40	11.67	1	25000	424
2	10	3.33	1.34	1.17	316.228	79.057	134
3	15	2.22	0.89	0.78	871.421	28.689	109
4	20	1.67	0.67	0.58	1788.854	13.975	95
5	25	1.33	0.54	0.47	3125.000	8.000	85
6	30	1.11	0.45	0.39	4929.503	5.072	77

Berdasarkan pada Tabel 3.1, model kanal yang dibuat memiliki dimensi 2.22 x 0.89 x 0.78 meter dan menggunakan pompa dengan kapasitas 28.69 m³/h. Maka model dapat disederhanakan sebagai berikut:



Gambar 3.4 Penampang atas dan samping model fisik *Water Intake*

Selain dimensi utama kanal yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4, elevasi yang diaplikasikan pada model uji juga mengacu kepada elevasi desain kanal *Water Intake* PLTGU Grati. Dimana terdapat tiga elevasi yang aplikasikan yaitu *High Water Level* (HWL), *Mean Sea Level* (MSL) dan *Low Water Level* (LWL).

Tabel 3.2 Data elevasi pada model uji

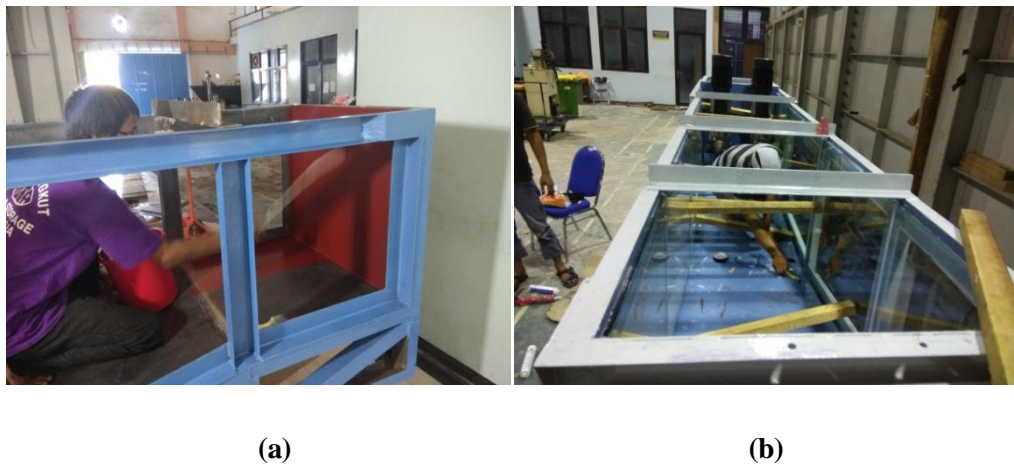
Elevasi	Prototip (m)	Model (m)
HWL	8.67	0.58
MSL	6.67	0.445
LWL	4.67	0.31

Data elevasi pada Tabel 3.2 diskalakan menggunakan hukum *Froude* dengan skala geometri 1:15, dimana elevasi tersebut yang akan diamati pada penelitian ini.



Gambar 3.5 Proses pembuatan kerangka model kanal *Water Intake*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Struktur kerangka kanal tersusun dari baja siku yang disambung menggunakan metode pengelasan *SMAW* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5, sedangkan bagian alasnya tersusun dari pelat baja. Pada bagian bawah kanal ditambahkan struktur penopang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5b. Proses selanjutnya adalah pengecatan kerangka model dan pemasangan kaca *tempered* sebagai dinding kanal.



Gambar 3.6 (a) Proses pengecatan kerangka model uji; dan (b) Proses pemasangan kaca *tempered* sebagai dinding kanal

Pengecatan dilakukan sebanyak 2 kali seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6, hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya korosi pada kerangka kanal. Setelah itu dinding kanal direkatkan kepada kerangka, perekatan dinding dilakukan dengan teliti untuk menghindari kebocoran pada kanal.

3.2.2 Detail Internal Kanal

Detail internal dalam kanal dibuat sesuai dengan kebutuhan eksperimen dan ketersediaan perlengkapan di Laboratorium.

a. Pemodelan Sirkulasi aliran

Pada pengujian ini penulis tidak memodelkan gelombang laut yang masuk kedalam kanal, air yang terhisap oleh pompa akan disalurkan kembali kedalam kanal melalui pipa sirkulasi.



(a)

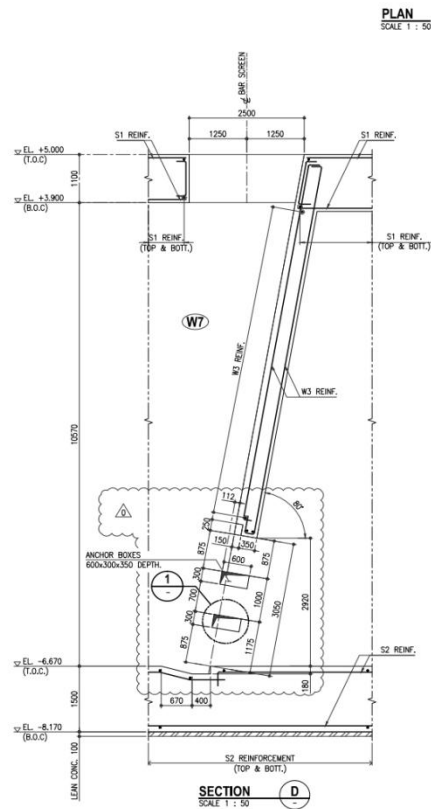
(b)

Gambar 3.7 (a) *Water Outflow* pada Model Kanal; (b) *Water Inflow* pada Model Kanal

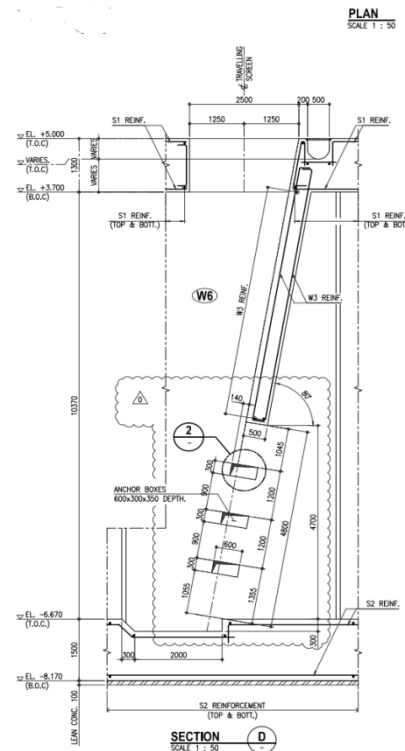
Gambar 3.7a merupakan saluran *outflow* dimana air yang dihisap oleh pompa masuk ke dalam pipa tersebut kemudian disalurkan kembali ke dalam kanal melalui pipa *inflow* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7b.

b. Sistem Penyaringan Kotoran (*Screen*)

Pada penelitian ini terdapat 2 jenis *Screen* yang dimodelkan yaitu *Bar Screen* dan *Travelling Screen*. *Bar Screen* merupakan tipe *Screen* yang menempel pada struktur kanal sedangkan *Travelling Screen* dapat digerakkan untuk mengangkat kotoran yang tertangkap keatas kanal agar tidak masuk ke dalam pompa.



(a)



(b)

Gambar 3.8 Desain penyangga sistem penyaringan pada kanal *Water Intake* PLTGU Grati **(a) Bar Screen**; **(b) Travelling Screen**

Gambar 3.8 merupakan desain penyangga *screen* mengacu kepada GRT-CC03-P0PAC-175170_3of8_R0. Penyangga dari *Travelling Screen* memiliki struktur yang lebih pendek dibandingkan dengan penyangga *bar screen*.

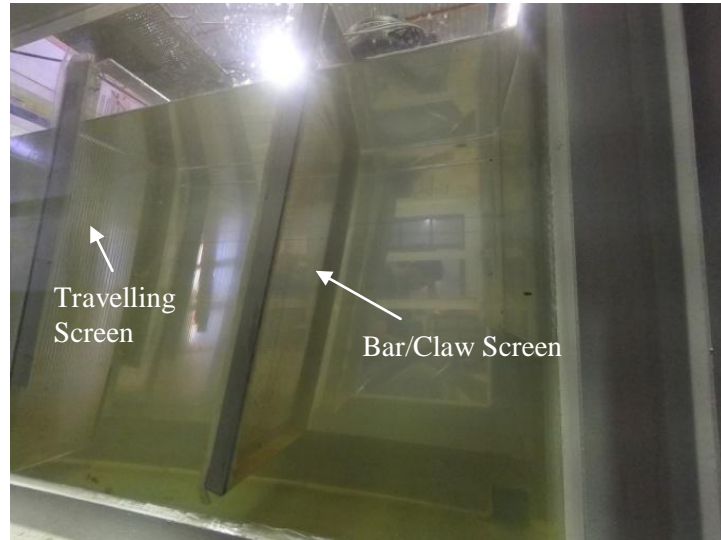


(a)

(b)

Gambar 3.9 **(a)** Bentuk Geometri *Bar Screen*; dan **(b)** *Travelling Screen*

Bentuk geometri *screen* yang dimodelkan ditunjukkan pada Gambar 3.9. Pada pemodelan ini, material yang digunakan untuk *Bar Screen* adalah jaring kawat dengan diameter lubang saringan 5 mm sedangkan untuk *Travelling Screen* menggunakan material *acrylic*.



Gambar 3.10 Susunan *Traveling Screen* pada *intake model*

Kemudian *screen* dipasangkan pada kanal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10, dimana letak *Travelling Screen* berada paling depan jika ditinjau dari arah datangnya aliran.

3.2.3 Pemodelan Sistem Perpompaan

Jenis pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal vertikal 2-pole, dimana debit pompa yang dibutuhkan adalah 28-30 m³/jam untuk masing-masing pompa. Setelah berkonsultasi dengan pihak PLTU Grati maka tipe pompa yang digunakan adalah CNP seri CDL 32-20-2.

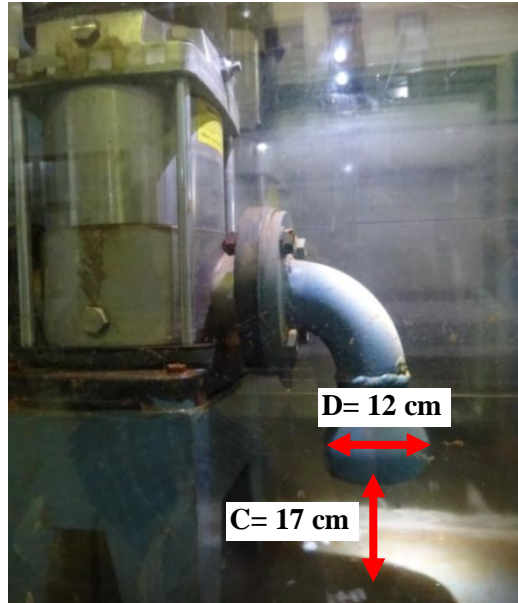
Tabel 3.3 Spesifikasi model pompa yang tersedia

Model	Driving motor		Q (m ³ /h)	16	20	24	28	32	36	40
	(kW)	(hp)								
CDL32-10-1	1.5	2	H (m)	14	13	12	11	9	7	4
CDL32-10	2.2	3		18	17	15	14	13	11	8
CDL32-20-2	3.0	4		29	28	26	23	20	16	11
CDL32-20	4.0	5.5		36	34	32	29	27	23	18
CDL32-30-2	5.5	7.5		47	44	41	38	33	28	21
CDL32-30	5.5	7.5		54	51	48	44	40	35	27
CDL32-40-2	7.5	10		65	62	58	53	46	40	30
CDL32-40	7.5	10		72	69	65	59	53	47	37
CDL32-50-2	11	15		83	79	74	68	60	52	41
CDL32-50	11	15		90	86	81	74	67	59	47
CDL32-60-2	11	15		101	97	90	83	74	65	51
CDL32-60	11	15		108	104	97	90	81	72	57
CDL32-70-2	15	20		119	114	107	98	88	78	60
CDL32-70	15	20		126	121	113	105	95	85	67

Tabel 3.3 menunjukkan bahwa Pompa CNP seri CDL 32-20-2 memiliki kapasitas debit 29 m³/jam pada *differential head* 16 meter. Pompa terinstal di bagian belakang kanal dengan jarak *suction* pompa terhadap dasar kanal setinggi 17 cm dan diameter penghisap 12 cm.



Gambar 3.11 Posisi pemasangan pompa centrifugal vertikal
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3.12 Pompa Sentrifugal pada Pemodelan *Water Intake*

Pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 ditunjukkan posisi pemasangan pompa pada kanal. Pompa dipasang di dalam kanal dengan tambahan penangga dibawah pompa, diameter mulut pompa adalah 12 cm dan *clearance* mulut pompa adalah 17 cm. Setelah sistem perpompaan sudah terpasang, langkah selanjutnya adalah memasang sistem kontrol pompa yaitu *inverter*.



Gambar 3.13 Pemasangan *inverter* (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

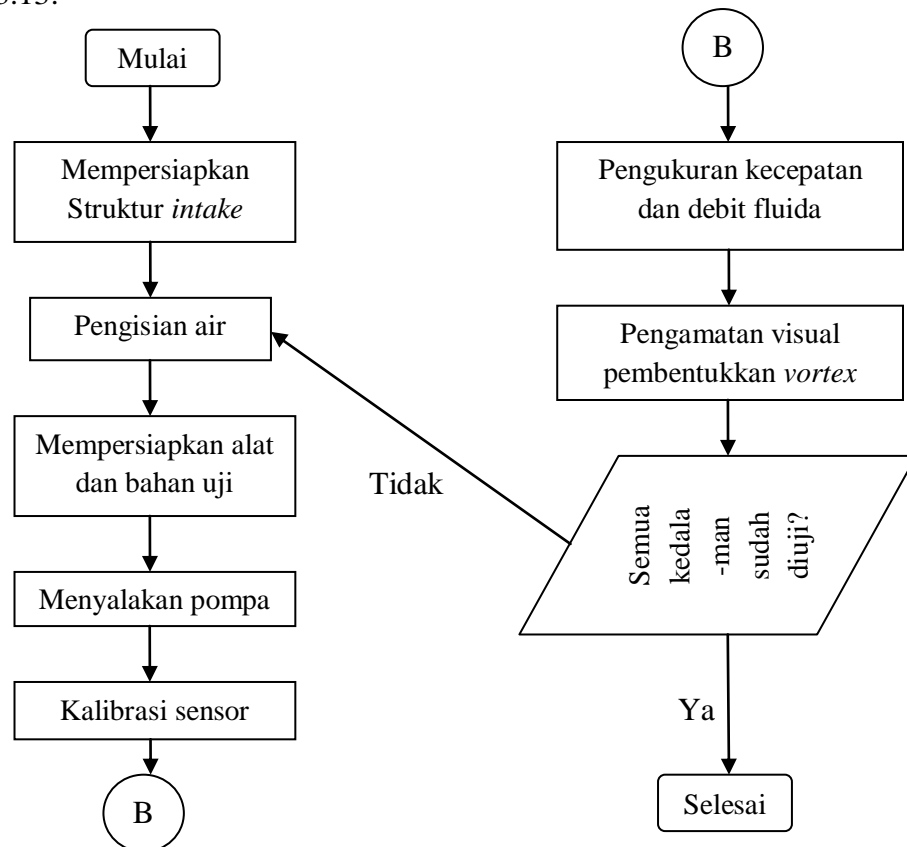
Inverter dipergunakan untuk menyesuaikan daya hisap pompa dengan mengatur frekuensi atau arus listrik yang masuk pada motor agar debit yang

dihasilkan terpenuhi. *Inventer* dipasang dibagian samping struktur dekat dengan posisi pompa seperti ditunjukkan pada Gambar 3.12. Penentuan spesifikasi *inventer* harus sesuai dengan kapasitas pompa yang digunakan, dalam pemodelan ini *inventer* yang digunakan memiliki kapasitas 3 kW.

3.3 Set-up Ekperimen

Keakuratan *set-up* dan prosedur eksperimen menjadi perhatian utama untuk mendapatkan data yang akurat. Pada sub-bab ini akan dijelaskan *set-up* dan prosedur eksperimen secara rinci meliputi alat dan bahan yang digunakan hingga cara kerja dan pengolaha data eksperimen.

Model fisik dialiri dengan air hingga memenuhi sarat air yang diinginkan kemudian nyalakan motor listrik biarkan pompa beroperasi beberapa saat untuk tujuan pemanasan, setelah itu pancing pompa dengan cara mengisi penuh rumah volute pompa dengan air. Selanjutnya nyalakan kembali pompa dan tunggu sesaat sampai aliran stabil, setelah aliran di dalam kanal stabil maka pengujian sudah bisa dilakukan. Diagram alir eksperimen yang dilakukan ditampilkan pada Gambar 3.13:



Gambar 3.14 Diagram alir eksperimen

Setelah pengujian selesai dilakukan, matikan *inverter*, bersihkan kolam uji dan merapikan alat dan bahan uji. Selama penelitian model, berikut ini merupakan peralatan yang dipakai:

- *Water Flow Sensor*: Alat ini digunakan untuk mengukur debit fluida, memiliki diameter 5 cm.



Gambar 3.15 Alat ukur debit fluida (*flow sensor*)

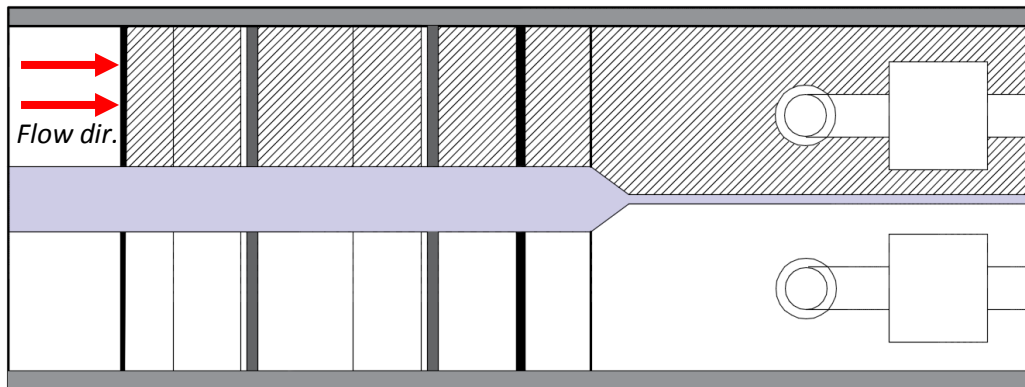
Alat ukur aliran yang digunakan terdiri dari 2 komponen yaitu alat ukur itu sendiri dan layar indikator untuk menampilkan *output* dari alat tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.13.

- Kamera : Digunakan untuk mengambil gambar yang diperlukan sebagai laporan
- Tinta/Pewarna : Digunakan untuk memvisualisasikan pola aliran yang terjadi pada fluida
- Sobekan kertas: Digunakan untuk mengetahui kekutan *vortex* yan terjadi.
- Alat alat pendukung lainnya.

3.4 Teknik Pengambilan Data

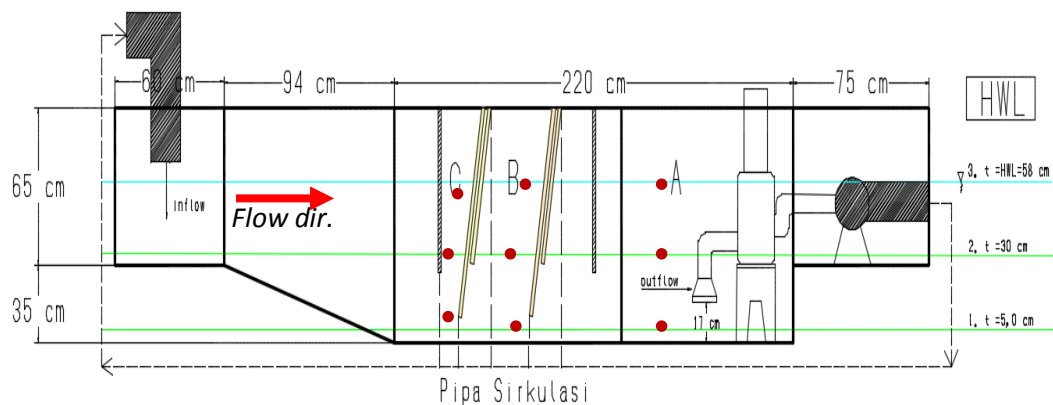
Pengambilan data dilakukan hanya pada area sebelum *removable screen* (A), Sebelum *fixed screen* (B) dan sekitar Pompa (C). Data yang dikumpulkan pada pengujian ini meliputi data debit fluida dan juga dokumentasi pola aliran dan *vortex* di dalam kanal. Pengukuran debit dilakukan selama 2 menit kemudian diambil sebanyak 20 data secara acak. Titik pengambilan data secara umum

dilakukan pada 3 (tiga) elevasi yaitu; *High Water Level* ($HWL = 58 \text{ cm}$), *Mean Sea Level* ($MSL = 44,5 \text{ cm}$), dan *Low Water Level* ($LWL = 31 \text{ cm}$).



Gambar 3.16 Tampak atas area uji pada kanal *water intake*

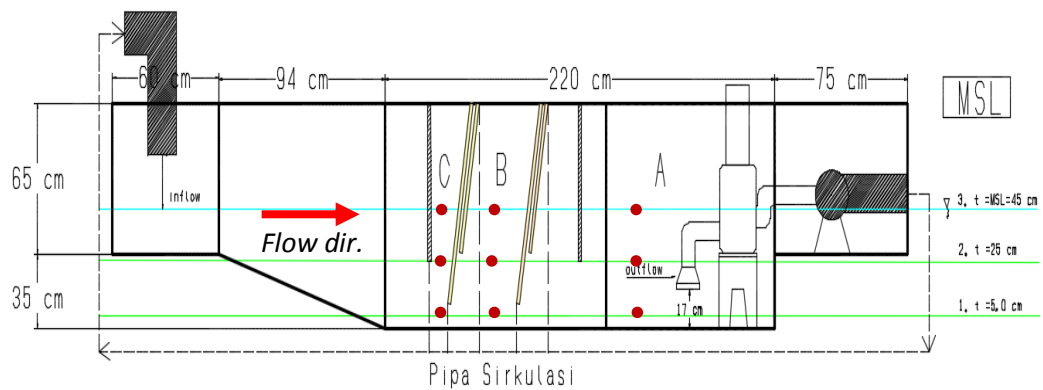
Penelitian ini hanya menggunakan sebagian area kolam seperti ditunjukkan area yang di arsir pada Gambar 3.16, ini dikarenakan peralatan dan waktu yang tidak mencukupi. Selain itu, bentuk dari kolam simetris dan kedua bagian kolam tidak saling memberikan pengaruh jadi peneliti menganggap bahwa pola aliran yang terbentuk pada kedua bagian kanal tidak jauh berbeda.



Gambar 3.17 Titik pengambilan data debit aliran pada ketinggian HWL

Pada elevasi HWL ($H_m = 58 \text{ cm}$) penulis melakukan pengambilan data pada 3 (tiga) kedalaman dari setiap area seperti ditunjukkan tanda merah pada Gambar 3.17, yaitu sebagai berikut:

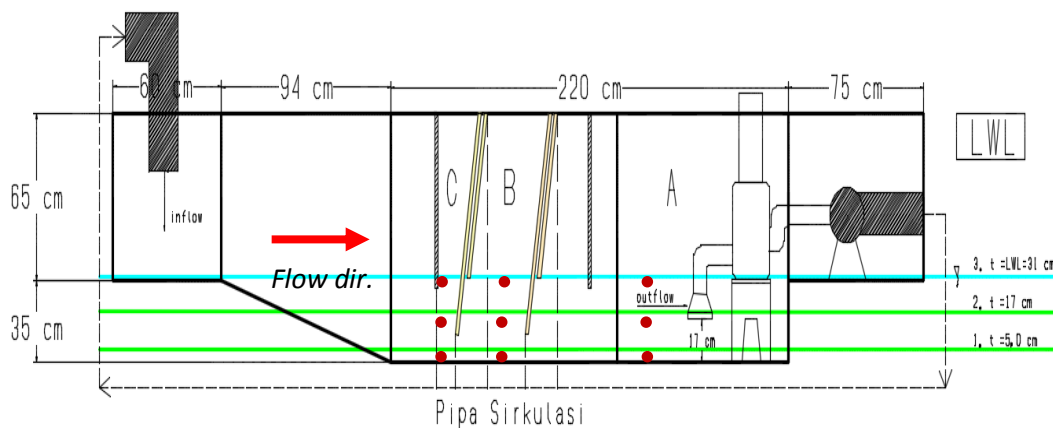
1. $d = 5 \text{ cm}$,
2. $d = 30 \text{ cm}$
3. $d = HWL = 58 \text{ cm}$.



Gambar 3.18 Titik pengambilan data debit aliran pada ketinggian MSL

Pada elevasi MSL ($H_m = 45$ cm) penulis melakukan pengambilan data pada 3 (tiga) kedalaman dari setiap areaseperti ditunjukkan tanda merah pada Gambar 3.18, yaitu sebagai berikut:

1. $t = 5$ cm,
2. $t = 25$ cm dan
3. $t = \text{MSL} = 45$ cm.



Gambar 3.19 Titik pengambilan data debit aliran pada ketinggian LWL

Pada elevasi MSL ($H_m = 45$ cm) penulis melakukan pengambilan data pada 3 (tiga) kedalaman dari setiap areareaseperti ditunjukkan tanda merah pada Gambar 3.19, yaitu sebagai berikut:

1. $t = 5$ cm,
2. $t = 17$ cm dan
3. $t = \text{LWL} = 31$ cm.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil eksperimen dari model hidrolik kanal *Water Intake* PLTGU yaitu pengujian struktur kolam, pengolahan data debit aliran di dalam kanal, hasil pengamatan pembentukan *vortex* dan pembahasan terhadap rumusan masalah yang berlaku.

4.1.1 Pengujian dan Evaluasi Struktur Kolam

Pengujian sistem dilakukan secara bertahap meliputi pengujian struktur kolam, sistem kinerja pompa dan instrumentasi pengukuran, pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang maksimal secara kualitas dan akurasi pengujian. Pada tahapan awal dilakukan pengujian ketahanan struktur dengan mengisi air ke dalam kolam pada elevasi yang dibutuhkan yaitu *High Water Level* (HWL). Pada pengujian tahap pertama ini, kualitas sambungan dan pemasangan kaca diamati secara periodik pada seluruh bagian kolam untuk mengetahui adanya kebocoran atau kerusakan pada struktur.



Gambar 4.1 Pengujian kanal pada elevasi HWL (Sumber: dokumentasi pribadi)

Gambar 4.1 menunjukkan proses pengujian struktur kanal dan alat uji. Pada pengujian ini ditemukan titik kebocoran pada sambungan kaca dan kerangka

kolam, namun permasalahan tersebut dapat diatasi dengan tepat. Secara keseluruhan struktur kolam sangat kokoh dan dapat beroperasi dengan semestinya.

4.1.2 Pengujian Sistem Kinerja Pompa

Fungsi pompa yang digunakan dapat berfungsi dengan baik, hal ini dapat ditunjukkan dengan kinerja pompa yang dapat memenuhi kebutuhan debit air yakni pada kisaran 28-30 m³/jam. Performa pompa sentrifugal vertikal yang digunakan pada performa 100% dan frekuensi 50 Hz mampu menghasilkan rata-rata debit \pm 510 liter/menit atau sebesar 30.6 m³/jam pada elevasi MSL. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan berdasarkan ketentuan yang diterbitkan oleh PLGU Grati, frekuensi tegangan yang digunakan pada kisaran 46 Hz dengan rata-rata debit yang dihasilkan sebesar \pm 480 liter/menit pada elevasi MSL. Penggunaan *inverter* sebagai pengatur kecepatan dan kemampuan hisap pompa dapat difungsikan dengan baik hal ini ditunjukkan melalui hubungan yang bersifat linier antara penurunan frekuensi tegangan dengan debit pompa yang dihasilkan, berikut adalah pengujian variasi tegangan terhadap debit pompa:

Tabel 4.1 Variasi frekuensi tegangan terhadap debit pada mulut pompa

Performa	100%	90%
Debit (liter/menit)	72.3	61.34
	76.63	57.2
	67.52	58.61
	72.78	53.64
	69.34	65.01
	63.57	54.97
	61.72	59.17
	65.61	68.63
	73.9	67.84
	71.94	51.57
Q Rata-rata	69.531	59.798
V Rata-rata (m/s)	0.57	0.49

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran kecepatan rata-rata pada mulut pompa pada elevasi muka air maksimum (HWL) dengan variasi frekuensi tegangan 50 Hz dan 48 Hz, dimana frekuensi tegangan yang digunakan selama proses pengujian adalah 48 Hz dengan rata-rata kecepatan pada mulut pompa sebesar 0.49 m/s. Menurut batas kriteria kecepatan pada mulut pompa yang dianjurkan oleh *Hydraulics Institute Standard* pada Tabel 2.1a pompa yang digunakan dalam percobaan ini termasuk ke dalam kriteria pertama dimana batas kecepatan pada mulut pompa adalah $0.6 \text{ m/s} \leq V \leq 2.7 \text{ m/s}$. Selisih hasil pengujian pada model dengan kriteria yang dianjurkan oleh HIS dapat diabaikan karena debit pompa yang digunakan pada ketentuan HIS adalah sebesar 1134 m³/h sedangkan debit pompa pada model kanal hanya 28 m³/h.

4.1.3 Deskriptif Data Penelitian

Data dalam penelitian ini berasal dari data primer berupa debit fluida yang diukur menggunakan *flow meter*. Proses pengambilan data dilakukan secara acak selama 2 menit pada 27 titik uji yang telah dibahas pada bab 3.

Tabel 4.2 Data debit rata-rata pada setiap elevasi dalam satuan liter/menit

Elevasi	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	Mulut Pompa
HWL	19.21	3.29	0	13.30	5.55	0	11.99	0	0	53.32
MSL	14.38	7.24	0	19.89	4.07	1.65	20.81	0	-2.98	50.66
LWL	25.13	9.69	6.51	15.31	0	4.30	20.34	13.67	0	53.94

Data yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 merupakan debit aliran rata-rata pada setiap titik pengujian dan pada mulut pompa untuk elevasi HWL, MSL dan LWL dalam satuan liter/menit. Pada beberapa titik pengujian debit aliran tidak terdeteksi oleh *flow meter* dikarenakan kecepatan air yang terlalu kecil dan keterbatasan alat ukur.

4.1.4 Distribusi Kecepatan Aliran dalam Kanal

Data debit air pada Tabel 4.1 dikonversi menjadi data kecepatan pada tiap titik uji dengan menggunakan persamaan:

$$Q = V \times A \quad (4.1)$$

dimana,

$Q = \text{Debit Fluida (m}^3/\text{s)}$

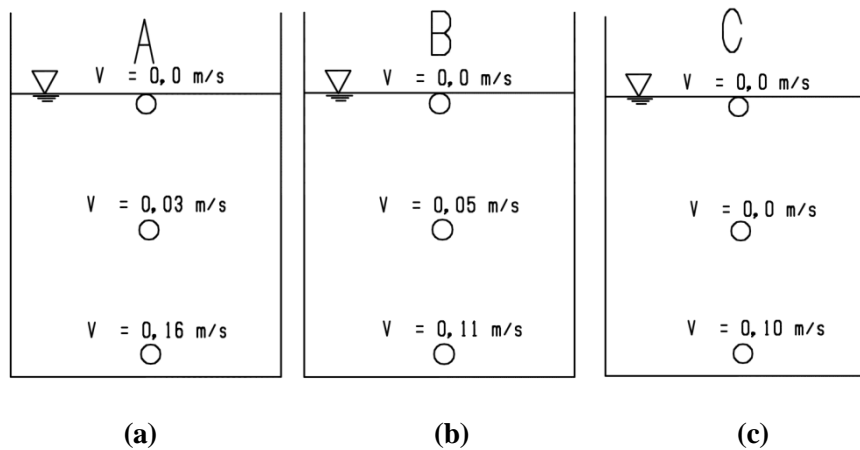
$V = \text{Kecepatan Fluida (m/s)}$

$A = \text{Luas Bidang, dalam penelitian ini adalah luas penampang sensor}$
yaitu 0.002 m^2

Tabel 4.3 Data kecepatan rata-rata pada tiap titik uji dalam satuan meter/detik

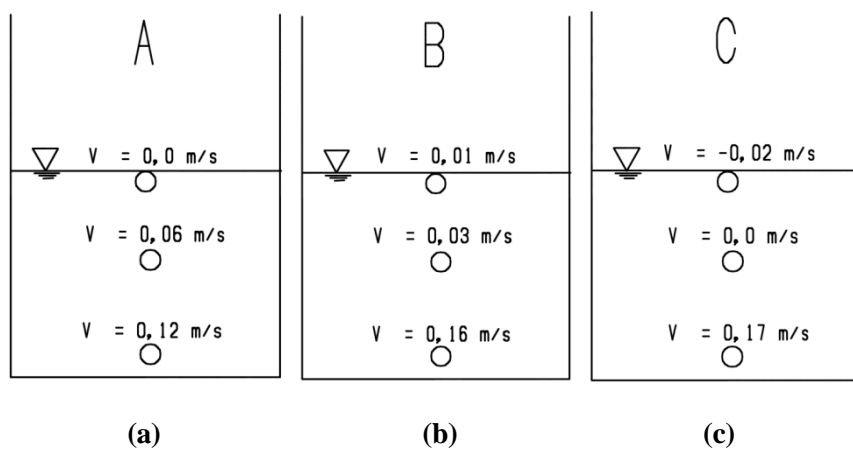
Elevasi	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	Mulut Pompa
HWL	0.158	0.027	0	0.109	0.046	0	0.099	0	0	0.44
MSL	0.118	0.060	0	0.164	0.036	0.014	0.171	0	-0.03	0.42
LWL	0.206	0.080	0.053	0.126	0	0.035	0.167	0.112	0	0.44

Berdasarkan Tabel 4.3 kecepatan rata-rata aliran di dalam kanal bervariasi terhadap kedalaman air dimana kecepatan rata-rata tertinggi terjadi di dasar area pompa pada Elevasi LWL yaitu 0.206 m/s. Selain itu kecepatan semakin meningkat saat fluida mendekati mulut pompa, hal ini disebabkan oleh hisapan dari pompa itu sendiri.



Gambar 4.2 Distribusi kecepatan aliran di dalam kanal pada elevasi HWL

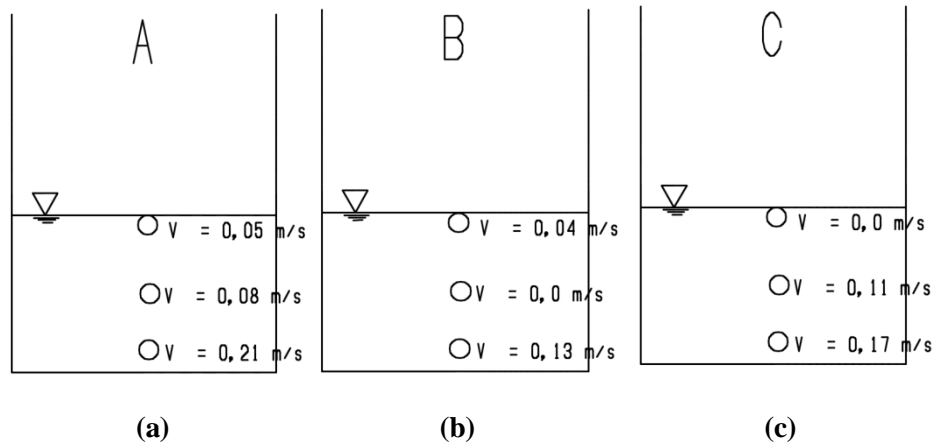
Gambar 4.2 menunjukkan kecepatan aliran rata-rata pada elevasi HWL cenderung meningkat ketika mendekati area pompa, dimana kecepatan rata-rata tertinggi berada pada dasar ($t = 5\text{cm}$) area sekitar pompa. Aliran pada permukaan sangat tenang sehingga tidak dapat terdeteksi oleh alat ukur yang digunakan pada pengujian ini.



Gambar 4.3 Distribusi kecepatan aliran di dalam kanal pada elevasi MSL

Pada elevasi MSL pola aliran yang berbeda ditunjukkan pada area *Travelling Screen* (Gambar 4.3c). Dimana aliran pada permukaan air bergerak kearah yang berlawanan dari arah aliran air di dalam kanal, hal ini terjadi karena air menabrak penghambat-penghambat di dalam kanal seperti dinding kanal, *screen*, dan sekat antar *screen* sehingga arah aliran berbelok dan bergerak ke berbagai arah. Selain itu kecepatan rata-rata pada bagian dasar kanal semakin menurun saat mendekati pompa, berbeda dengan kecepatan rata-rata pada elevasi

HWL yang semakin meningkat ketika mendekati mulut pompa. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan di dalam kanal mempengaruhi kecepatan dan pola aliran yang terjadi di dalam kanal.



Gambar 4.4 Distribusi kecepatan aliran di dalam kanal pada elevasi LWL

Distribusi kecepatan pada elevasi LWL memiliki rata-rata tertinggi dari semua elevasi yang diujikan. Dimana kecepatan rata-rata tertinggi terdapat pada dasar area sekitar pompa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4a. Berdasarkan pengamatan, hal ini terjadi akibat tekanan dari volume fluida di dalam kanal yang mengecil sehingga perbedaan kecepatan antara aliran air pada permukaan dan dasar kanal tidak terlalu signifikan.

4.2 Analisis Pola Aliran Fluida

Pada penelitian ini peneliti menekankan pada pengaruh parameter-parameter non-dimensional, dalam menentukan performa model hidrolik yang telah diuji. Dari beberapa literasi yang telah dilakukan oleh peneliti, parameter-parameter tersebut yaitu bilangan *Reynolds*, *Weber* dan *Froude*. Namun dalam pembahasan ini penulis tidak akan memasukan bilangan *Weber* karena data yang diperlukan tidak dapat terpenuhi.

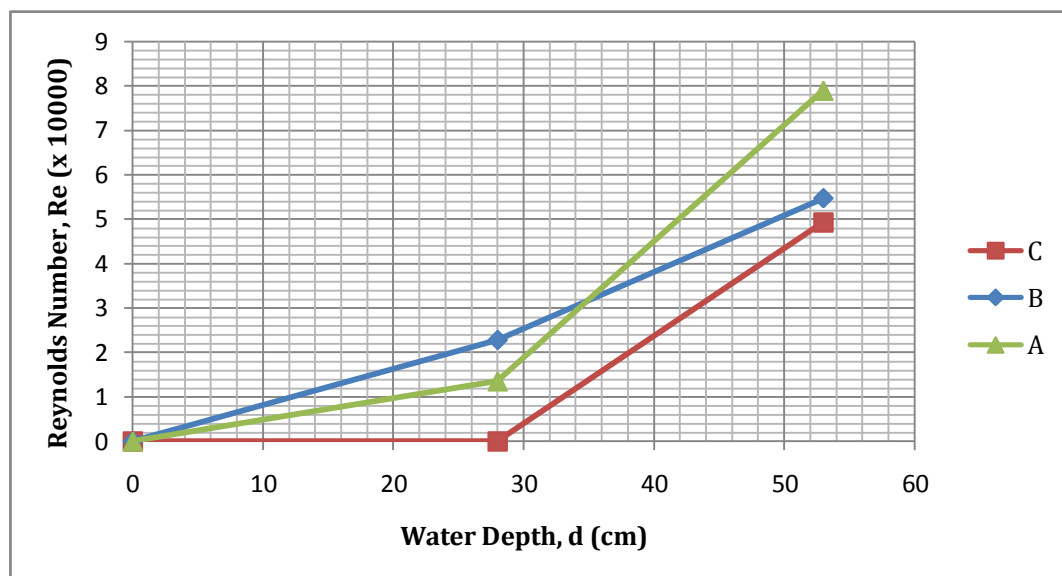
Bilangan *Froude* dan *Reynolds* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.17 dengan memasukkan data kecepatan fluida pada Tabel 4.2. Fluida yang digunakan dianggap dalam keadaan *absolute* dimana nilai massa jenis (ρ) dan viskositas kinematis (μ) fluida berturut-turut adalah 1000 kg/m^3 dan 0.0001 kg/ms . Pada perhitungan bilangan *Reynolds*, panjang karakteristik yang digunakan merupakan lebar kanal dari area yang diteliti. Sedangkan untuk

bilangan *Froude*, panjang karakteristik yang digunakan adalah diameter *flow sensor* $d = 5$ cm. Berikut ini merupakan hasil perhitungan bilangan *Froude* dan *Reynolds* pada setiap elevasi.

Tabel 4.4 Nilai bilangan *Froude* dan *Reynolds* pada elevasi HWL= 58 cm

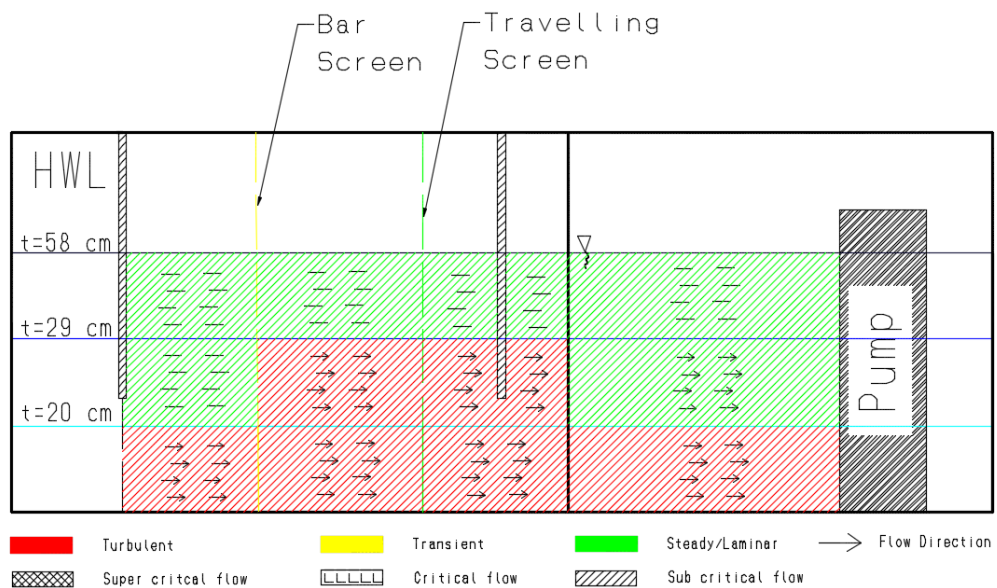
	Titik Uji	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Bilangan Reynold	Bilangan Froude
A	1	0.16	7.9×10^4	0.226
	2	0.03	1.3×10^4	0.039
	3	0.00	0	0.000
B	1	0.11	5.4×10^4	0.156
	2	0.05	2.3×10^4	0.065
	3	0.00	0	0.000
C	1	0.10	4.9×10^4	0.141
	2	0.00	0	0.000
	3	0.00	0	0.000

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.4, nilai *Re* tertinggi pada elevasi *High Water Level* terjadi di dasar area pompa (area uji A) yaitu sebesar 7.9×10^3 . Sedangkan kecepatan aliran dibagian permukaan aliran tidak terdeteksi oleh *flow sensor* sehingga aliran permukaan kanal pada elevasi *High Water Level* bisa dianggap laminar atau memiliki nilai *Re* < 2300 .



Gambar 4.5 Grafik perubahan *Reynolds Number* terhadap kedalaman pada elevasi HWL

Gambar 4.5 menerangkan dengan jelas bahwa perubahan bilangan *Reynolds* pada elevasi *High Water Level* semakin meningkat terhadap penurunan kedalaman air. Selain itu, bilangan *Reynolds* juga meningkat ketika mendekati mulut pompa. Berdasarkan hasil perhitungan pada dasar dan setengah dari elevasi HWL, kecuali pada setengah elevasi bagian C, memiliki nilai bilangan *Reynolds* > 4000, maka dapat dinyatakan bahwa aliran yang terbentuk merupakan aliran turbulen. Jika dipetakan secara sederhana, pola aliran di dalam kanal adalah sebagai berikut:



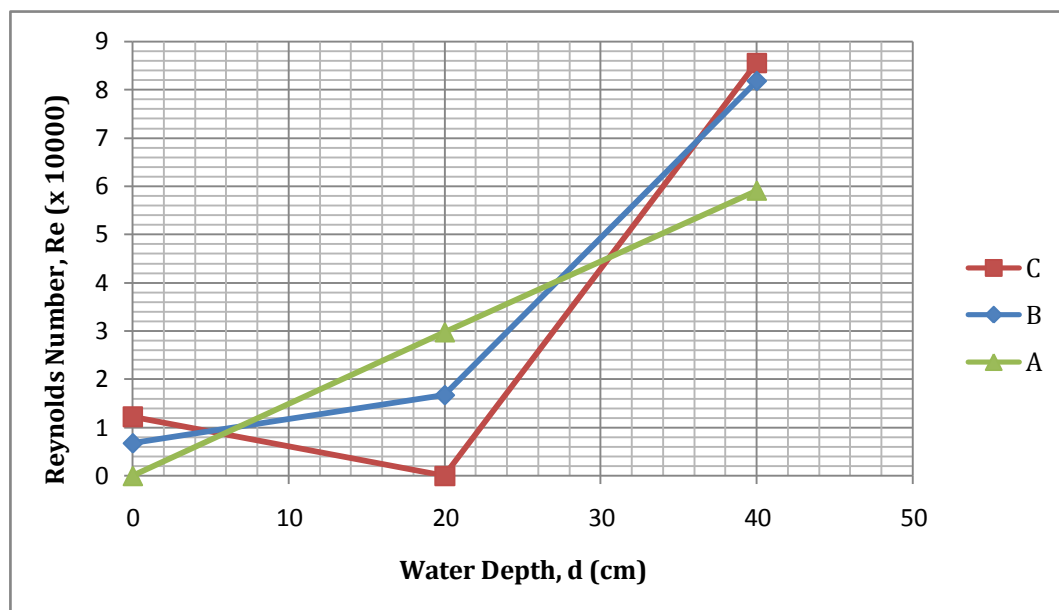
Gambar 4.6 Pemetaan pola aliran *Reynolds Number* pada elevasi HWL= 58 cm

Dari pemetaan aliran pada Gambar 4.6, aliran yang terbentuk pada elevasi *High Water Level* terbagi menjadi dua yaitu laminar pada bagian permukaan kanal kemudian berubah menjadi aliran turbulen pada setengah kedalaman dan bagian dasar kanal.

Tabel 4.5 Nilai bilangan *Froude* dan *Reynolds* pada elevasi MSL= 44.5 cm

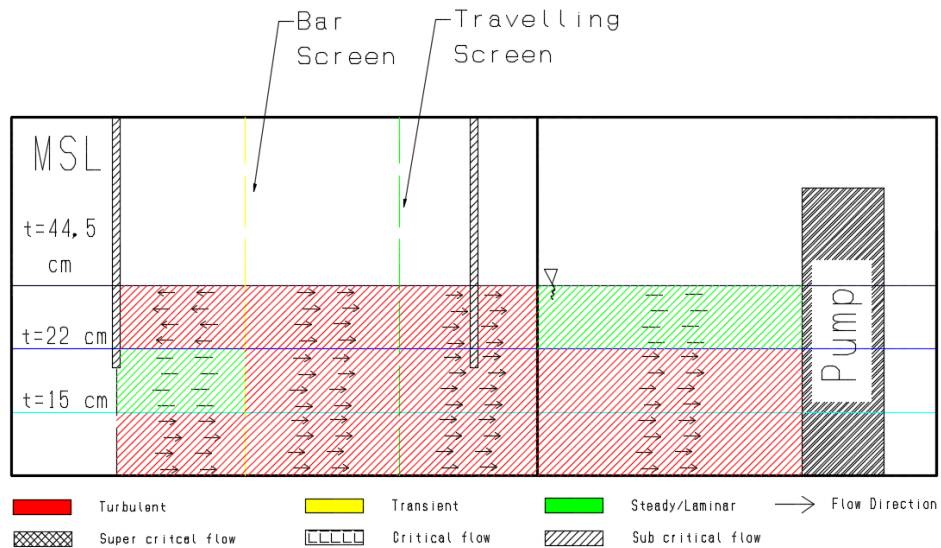
	Titik Uji	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Bilangan Reynold	Bilangan Froude
A	1	0.12	5.9×10^4	0.169
	2	0.06	3.0×10^4	0.085
	3	0.00	0	0.000
B	1	0.16	8.2×10^4	0.234
	2	0.03	1.6×10^4	0.048
	3	0.01	6.8×10^3	0.019
C	1	0.17	8.6×10^4	0.224
	2	0.00	0	0.000
	3	-0.03	1.2×10^4	0.035

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.5, pada elevasi *Mean Sea Level* nilai *Re* tertinggi terjadi di dasar area C yaitu sebelum *Bar Screen*. Fenomena menarik terjadi pada permukaan area C yaitu terjadi *cross flow* sebesar 0.03 m/s, tetapi menurut standar yang ditetapkan oleh HIS jika *cross flow* yang terjadi masih dibawah 25% dari kecepatan aliran mulut pompa pada elevasi MSL (0.42 m/s) maka hal tersebut dapat diabaikan.



Gambar 4.7 Grafik Perubahan *Reynolds Number* terhadap kedalaman pada elevasi MSL

Gambar 4.7 merupakan grafik menunjukkan perubahan bilangan *Reynolds* yang tidak konstan pada area *Bar Screen* (C), dimana pada kedalaman 20 cm bilangan *Reynold* mengalami penurunan kemudian meningkat kembali pada kedalaman 40 cm. Sementara pada area *Travelling Screen* dan area pompa bilangan *Reynolds* mengalami peningkatan seiring dengan penurunan kedalaman.



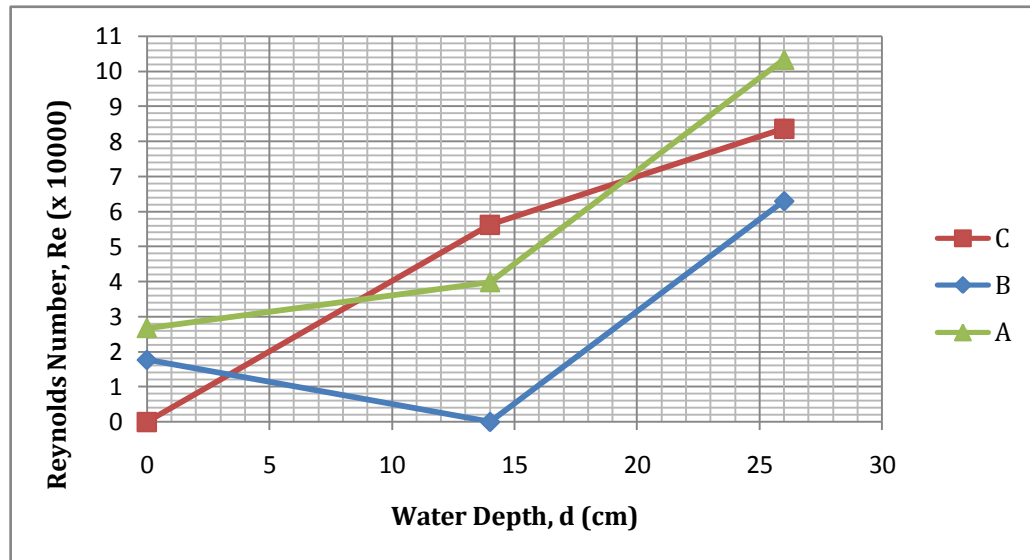
Gambar 4.8 Pemetaan pola aliran berdasarkan *Reynolds Number* pada elevasi MSL= 44.5 cm

Gambar 4.8 menunjukkan aliran yang terbentuk pada elevasi *Mean Sea Level* yaitu aliran laminar pada area C₂ dan A₃ sedangkan aliran turbulen terbentuk pada area C₁, C₂, B₁, B₂, B₃, A₁ dan A₂.

Tabel 4.6 Nilai bilangan *Froude* dan *Reynolds* pada elevasi LWL= 31 cm

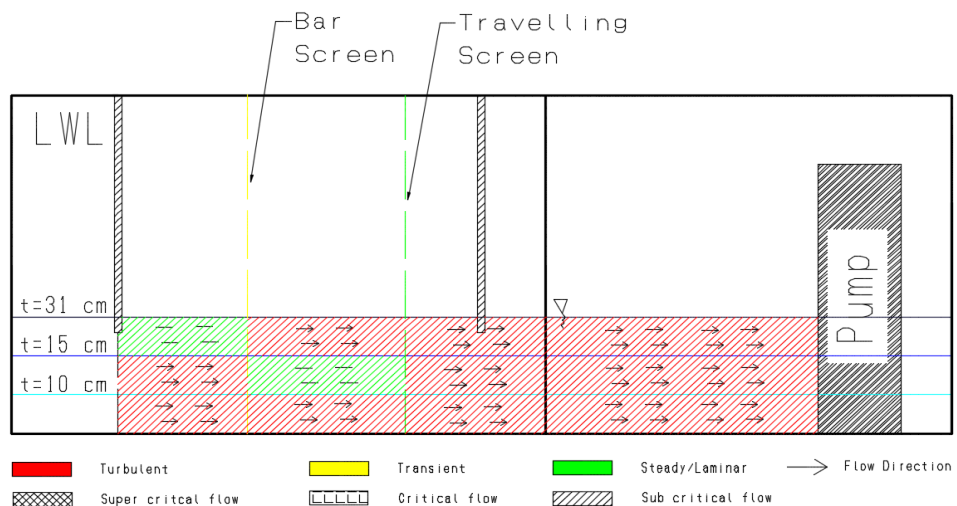
Titik Uji	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Bilangan Reynold	Bilangan Froude	
A	1	0,21	$1,0 \times 10^5$	0,295
	2	0,08	$4,0 \times 10^4$	0,114
	3	0,05	$2,7 \times 10^4$	0,076
B	1	0,13	$6,3 \times 10^4$	0,180
	2	0,00	0	0,000
	3	0,04	$1,7 \times 10^4$	0,051
C	1	0,17	$8,4 \times 10^4$	0,239
	2	0,11	$5,6 \times 10^4$	0,161
	3	0,00	0	0,000

Berdasarkan hasil perhungan pada Tabel 4.6, pada elevasi *Low Water Level* nilai bilangan *Reynolds* paling besar terjadi pada dasar area sekitar pompa (A_3) yaitu sebesar 10^5 . Sedangkan aliran pada permukaan area *screen* (B dan C) tidak terdeteksi oleh *flow sensor*.



Gambar 4.9 Grafik Perubahan *Reynolds Number* terhadap kedalaman pada elevasi LWL

Gambar 4.9 menunjukkan perubahan bilangan *Reynolds* pada area sebelum *Bar Screen* dan area sekitar pompa terus meningkat seiring dengan penurunan kedalaman air pada kolam. Sedangkan pada area sebelum *Travelling Screen* terjadi aliran turbulen pada permukaan aliran kemudian berubah menjadi laminar pada pertengahan aliran.



Gambar 4.10 Pemetaan pola aliran pada elevasi LWL= 31 cm

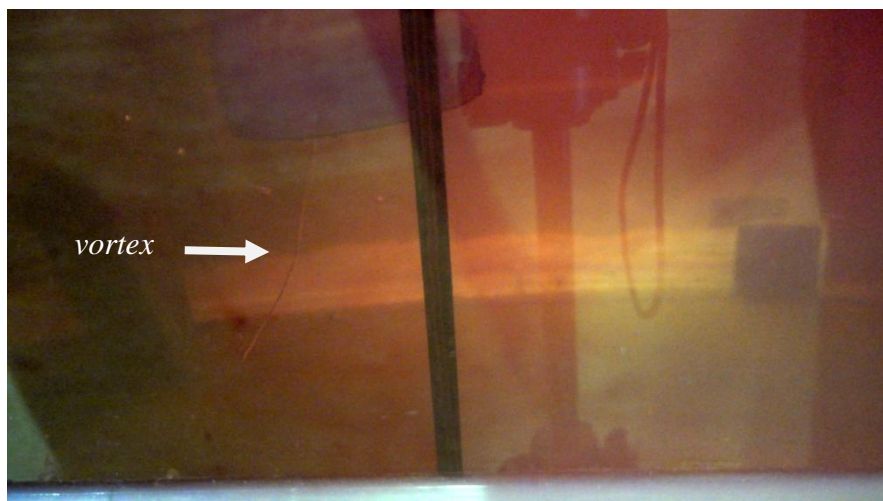
Berdasarkan pemetaan aliran pada Gambar 4.10, secara umum aliran yang terbentuk pada elevasi *Lowest Water Level* merupakan aliran turbulen dengan rata-rata kecepatan aliran tertinggi jika dibandingkan dengan elevasi HWL dan MSL. Dimana area yang memiliki rata-rata kecepatan tertinggi adalah pada dasar area pompa.

4.3 Visualisasi Pembentukan *Vortex*

Analisis *vortex* bertujuan untuk mengamati pembentukan *vortex* pada elevasi desain kanal *Water Intake* PLTGU Grati. Titik-titik pengamatan pembentukan *vortex* yang dilakukan sama dengan titik pengukuran debit aliran, yaitu pada area A, B, dan C dengan ketinggian HWL, MSL dan LWL. Tipe *vortex* yang diamati mengacu kepada klasifikasi yang ditetapkan dalam *Hydraulics Institute Standard* (HIS), dimana secara umum dapat dikategorikan menjadi *surface vortex* dan *subsurface vortex* seperti ditampilkan pada Gambar 2.14.

4.3.1 Visualisasi *Vortex* pada Elevasi *High Water Level* (58 cm)

Pada elevasi *High Water Level* tidak terbentuk *vortex* pada bagian permukaan aliran, hal ini membuktikan hasil perhitungan pada Tabel 4.4 bahwa aliran pada permukaan elevasi HWL merupakan aliran laminar dimana aliran laminar tidak akan menimbulkan pembentukan *vortex*. Sedangkan di bawah permukaan terjadi pembentukan *vortex* dengan frekuensi yang tidak terlalu tinggi.



Gambar 4.11 *Subsurface vortex* pada elevasi HWL

Pada Gambar 4.11 terlihat *vortex* terbentuk dibawah mulut pompa, pembentukan *vortex* berawal dari bawah permukaan air oleh karena itu *vortex* pada gambar diatas diklasifikasikan sebagai *subsurface vortex*. Pusaran air yang terbentuk tidak terlalu kuat sehingga pewarna yang disuntikkan ke dalam pusaran tidak berputar mengikuti *vortex* tersebut. Jika mengacu pada klasifikasi jenis *vortex* yang terdapat dalam HIS, jenis *vortex* yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 merupakan *subsurface vortex* tipe 1.



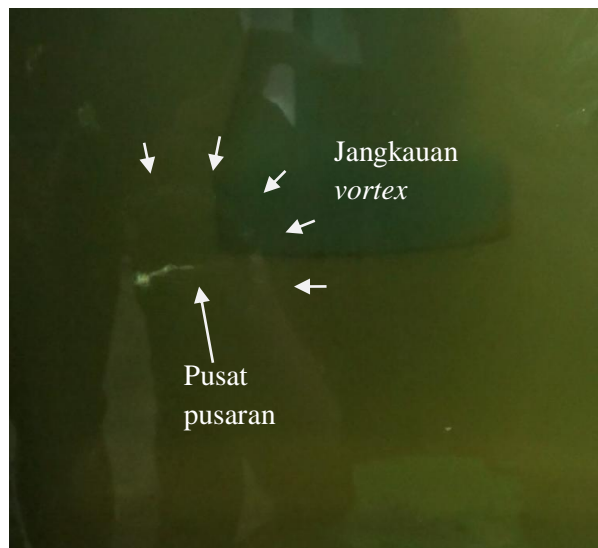
Gambar 4.12 Pola aliran masuk menuju mulut pompa pada elevasi HWL

Gambar 4.12 menunjukkan dengan jelas bahwa pola aliran masuk menuju mulut pompa pada elevasi HWL cukup tenang. Secara keseluruhan *vortex*

yang terbentuk pada elevasi *High Water Level* masih memenuhi ketentuan yang dinyatakan dalam *Hydraulics Institute Standard*.

4.3.2 Visualisasi *Vortex* pada Elevasi *Mean Sea Level* (44.5 cm)

Pada elevasi *Mean Sea Level* terjadi pembentukan *subsurface vortex* seperti yang ditunjukkan Gambar 4.13. *Vortex* yang terjadi pada elevasi MSL lebih kuat dan memiliki frekuensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *vortex* yang terjadi pada elevasi HWL. Jika pada elevasi HWL *vortex* yang terjadi memiliki putaran yang lebih tenang dan hanya terjadi dari bawah mulut pompa. Sedangkan pada elevasi MSL *vortex* bergerak secara tidak beraturan secara vertikal dan menempel pada dinding kanal.



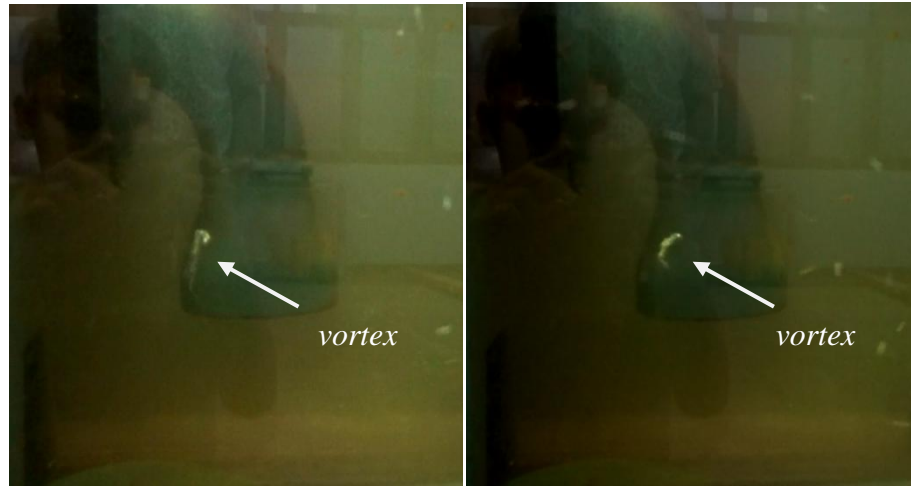
Gambar 4.13 Penampakan *subsurface vortex* pada elevasi *Mean Sea Level* (MSL= 44.5 cm)

. Jika mengacu pada klasifikasi jenis *vortex* menurut *Hydraulics Institute Standard*, *vortex* yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 merupakan jenis *dye core vortex* (tipe 2) dimana jenis *vortex* ini masih dapat diterima sesuai dengan ketentuan dari HIS. Hasil pengamatan lain tidak menunjukkan adanya pembentukan *vortex* pada permukaan kanal pada elevasi MSL.

4.3.3 Visualisasi *Vortex* pada Elevasi *Low Water Level* (31 cm)

Vortex yang terbentuk pada elevasi *Low Water Level* memiliki karakteristik yang sama dengan elevasi MSL baik itu tipe *vortex* dan lokasi

terbentuknya *vortex*. Namun kekuatan *vortex* pada elevasi LWL lebih besar dan frekuensinya menjadi semakin tinggi. Tercatat dari hasil pengamatan bahwa setiap menit terjadi pembentukan *vortex* di lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Penampakan *subsurface vortex* pada elevasi
Low Water Level (LWL= 31 cm)

Gambar 4.14 menunjukkan dengan jelas *subsurface vortex* yang terbentuk memiliki pusat pusaran yang lebih tebal jika dibandingkan dengan *vortex* yang terjadi pada elevasi MSL. Hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan pusarannya lebih besar, namun *vortex* ini masih diklasifikasikan sebagai *subsurface vortex* tipe 2 karena tidak terdapat udara yang masuk ke dalam pusat pusaran.

Selain terbentuk *subsurface vortex*, peneliti menemukan adanya pembentukan *vortex* pada permukaan aliran area sekitar pompa. Akan tetapi kekuatan *vortex* yang terjadi sangat kecil sehingga sulit untuk mengambil dokumentasi berupa foto dan video. Untuk mempermudah pengamatan pola aliran pada permukaan, maka peneliti menggunakan sobekan kertas yang disebar diatas permukaan air.



Gambar 4.15 *Surface vortex* pada elevasi *Low Water Level* (LWL)

Vortex yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 terlihat menarik potongan kertas menuju pusat pusaran kemudian membawa potongan-potongan kertas tersebut masuk ke dalam aliran. Frekuensi *vortex* sangat kecil dan arah gerak *vortex* menjauh dari mulut pompa. *Vortex* tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam *surface vortex* tipe 4, dimana jenis *vortex* seperti ini tidak diperbolehkan menurut HIS.

4.4 Menentukan Kedalaman Kritis (H_{Cr})

Hal yang harus dihitung untuk mengetahui kedalaman kritis pada kanal adalah nilai *critical submergence* (S_c), parameter yang digunakan dalam perhitungan *critical submergence* adalah bilangan *Froude* (Fr) yang terdapat pada persamaan (2.3). Dimana kecepatan karakteristik aliran yang digunakan merupakan kecepatan rata-rata mulut pompa pada setiap elevasi yang terdapat pada Tabel 4.2 sedangkan panjang karakteristik merupakan diameter *flow sensor* ($D = 0,05$ m).

Tabel 4.7 Nilai bilangan *Froude* pada mulut pompa untuk setiap elevasi

Elevasi	Kecepatan rata-rata pada mulut pompa	<i>Froude Number</i> (Fr)
HWL	0.45	0.40
MSL	0.42	0.38
LWL	0.44	0.40

Berdasarkan Tabel 4.7 maka kita bisa mengetahui nilai *critical submergence* untuk masing-masing elevasi.

Tabel 4.8 Nilai *critical submergence* pada setiap elevasi

Elevasi	<i>Critical Submergence (m)</i>
HWL	0.122
MSL	0.118
LWL	0.123

Nilai *critical submergence* yang ditampilkan pada Tabel 4.8 diambil dari rata-rata untuk mengetahui nilai *critical submergence* pada untuk keseluruhan model uji, maka didapatkan nilai $S_c = 0.121$ meter. Untuk mengetahui berapa kedalaman minimum yang diperbolehkan supaya tidak terjadi *vortex* yang sangat kuat, maka nilai *critical submergence* tersebut dijumlahkan dengan jarak mulut pompa ke dasar bagian dasar kanal.

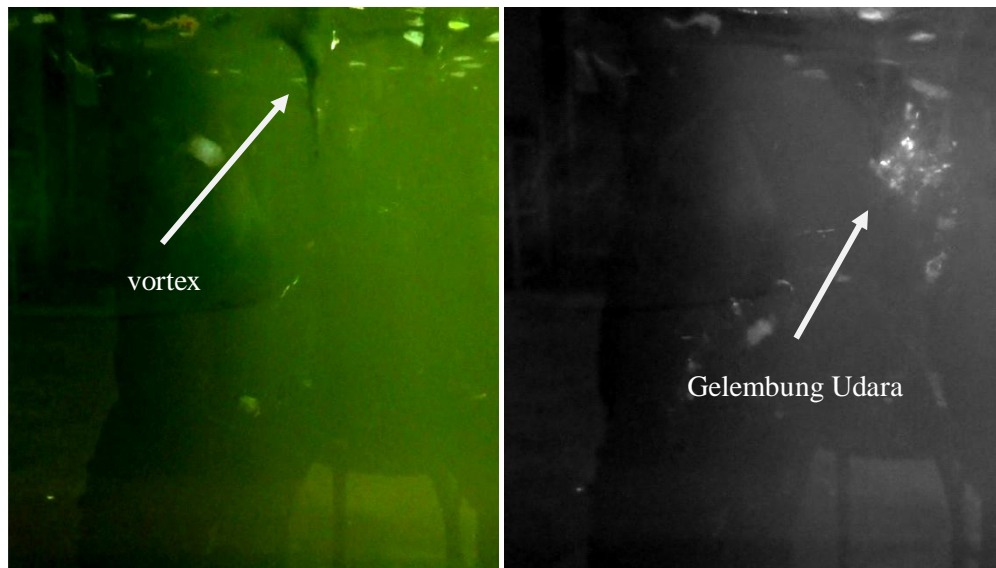
$$H_{\text{critical}} = S_c + C$$

$$H_{\text{critical}} = 0.121 + 0.17$$

$$H_{\text{critical}} = 0.291 \text{ meter} \quad (4.2)$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa kedalaman kritis pada model uji kanal *Water Intake* adalah 0.291 meter.

Untuk memperkuat hasil perhitungan maka dilakukan pengamatan *vortex* dengan cara mengurangi elevasi air secara konstan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada elevasi 28 cm terjadi *vortex* dengan frekuensi yang tinggi dan tidak dapat ditoleransi.



(a)

(b)

Gambar 4.16 *Surface vortex* pada elevasi 28 cm

Pada Gambar 4.16a terlihat pembentukan *vortex* yang sangat kuat sehingga pusarannya masuk ke mulut pompa. Sedangkan pada Gambar 4.16b terlihat dengan jelas *vortex* membawa gelembung udara dan potongan kertas dari permukaan masuk kedalam aliran dimana *vortex* ini termasuk tipe 4 dan 5.



(a)

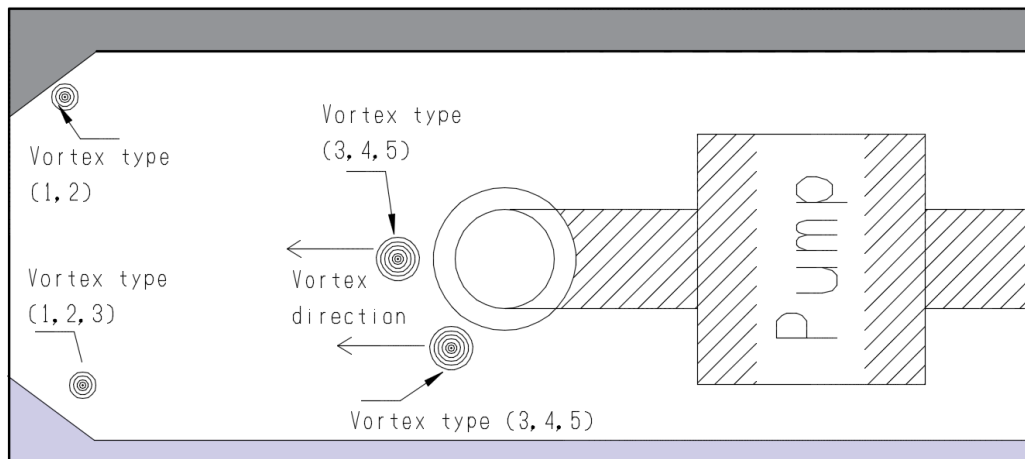
(b)

(c)

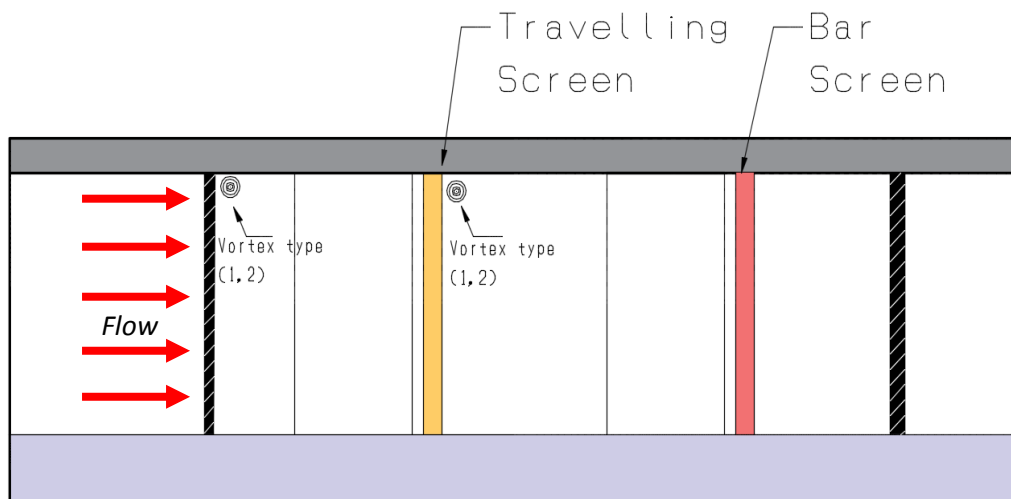
(d)

Gambar 4.17 Proses pembentukan *surface vortex* pada elevasi 28 cm

Vortex mulai terbentuk di dekat pompa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17a kemudian kekuatan pusarannya semakin membesar dan bergerak menjauhi mulut pompa sampai akhirnya menghilang. Rata-rata waktu yang dibutuhkan dari awal terbentuknya *vortex* sampai pusarannya menghilang dari permukaan adalah selama 3 detik. Selain terjadi pada area sekitar pompa, pembentukan *vortex* terjadi di area sekitar screen. Secara keseluruhan *vortex* yang terbentuk pada elevasi 28 cm dapat dipetakan sebagai berikut.



Gambar 4.18 Pemetaan *surface vortex* di area sekitar pompa pada elevasi 28 cm



Gambar 4.19 Pemetaan *surface vortex* di area *screen* elevasi 28 cm

Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 menunjukkan titik-titik pembentukan *vortex* pada saat elevasi 28 cm terdapat pada sekitar mulut pompadan pada bagian struktur kanal yang bersudut. Hal ini membuktikan bahwa selain faktor tekanan yang ditimbulkan oleh daya hisap pompa, *vortex* juga dapat dipengaruhi oleh struktur kanal. Bagian-bagian sudut kanal menyebabkan aliran berbelok ke berbagai arah sehingga aliran saling bertabrakan satu sama lain dan menimbulkan pusaran baik di permukaan maupun di bawah permukaan.

Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa elevasi kritis dari model uji adalah 28 cm, maka penulis bisa menentukan nilai *critical submergence* hasil pengamatan visual adalah 11 cm.

Tabel 4.9 Perbandingan *Critical Submergence* hasil perhitungan dengan uji fisik

Average	<i>Critical Submergence</i> (m)		H critical (m)	H minimum (m)
	HIS	Uji Fisik		
Model	0.121	0.11	0.28	≥ 0.29
Prototipe	1.8	1.65	4.20	≥ 4.35

Hasil perhitungan *critical submergence* menggunakan formula dari *Hydraulics Institute Standard* memiliki selisih sebesar 0.01 m dengan hasil eksperimen. Maka dari hasil yang tercantum pada Tabel 4.9 kita bisa menentukan tinggi minimum yang dianjurkan dalam operasional kanal *Water Intake* adalah 4.35 meter.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dengan melihat hasil penelitian yang telah dilakukan dan mempertimbangkan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat kita tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Aliran yang terjadi di dalam kanal bervariasi terhadap kedalaman dengan rata-rata bilangan *Reynolds* sebesar $Re = 3.5 \times 10^4$, dimana pada permukaan terjadi aliran laminar sedangkan pada kedalaman 0.5 dan pada dasar kanal terbentuk aliran turbulen. Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa pada elevasi HWL terjadi pembentukan *subsurface vortex* tipe 1, sedangkan untuk elevasi MSL dan LWL terbentuk *subsurface vortex* tipe 1 dan tipe 2 dan *surface vortex* tipe 1 dan tipe 2.
2. Elevasi minimal yang dianjurkan menghindari terbentuknya *vortex* yang tidak diinginkan yaitu harus lebih dari 29 cm pada model uji, sehingga pada operasional kanal *Water Intake* elevasi minimal yang dianjurkan adalah ≥ 4.35 meter.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan dan kesimpulan di atas, peneliti memberikan saran yang bertujuan untuk kebaikan dan kemajuan penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan peralatan yang lebih akurat terutama alat pengukur yang digunakan untuk mencari karakteristik fluida.
2. Konfigurasi penyangga pompa diperbaiki sehingga tidak ada aliran yang masuk ke daerah belakang pompa.
3. Penambahan *anti-vortex* dibawah mulut pompa untuk mengetahui perbedaan yang terjadi.
4. Untuk mempermudah pengamatan *vortex* di dalam mulut pompa, maka penulis menganjurkan untuk menggunakan pipa yang transparan.

DAFTAR PUSTAKA

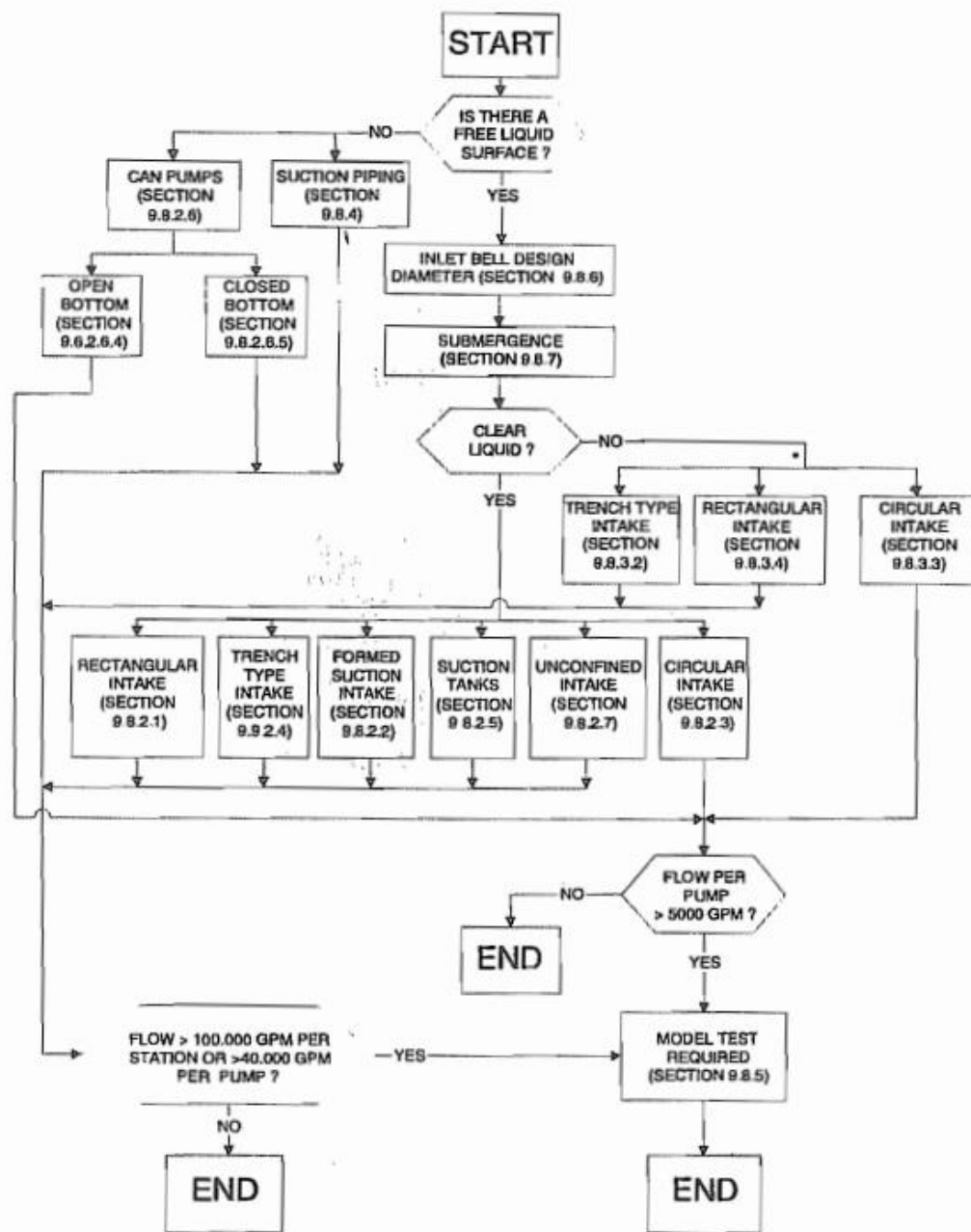
- Bauer, Deborah I., 1997. *Subsurface Vortex Suppression in Water Intakes with Multiple Pump Sumps*. Tech. Report No 389. Iowa Institute of Hydraulic Research.
- Bottazzi, E., Guiseppe, F., & Luigi, M., 2008. *Optimization of a Penstock Intake Based on a Simplified Physical Model*. Slovenia: Hidroenergia Conference.
- Durgin, W.W., & Anderson, F.A., 1972. *Davis Pumped Storage Project Hydraulic Model Studies; Intake Model, Upper Storage Reservoir*. Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute.
- Hecker, G., 1981. *Model Prototype Comparassion of Free Surface Vortices*. Journal Hydraulics. England, hlm 284-297.
- Hydraulic Institute Standard.*, (1998). *American National for Pump Intake Design*". New York: ANSI.
- Jain, A.K. Ranga Raju dan Garde. 1978. *Vortex Formation In Vertical Pipe Intakes*. Proc, ASCE Hydraulic Division, Vol. 104, No. HY10.
- Johansson, A. dkk. 2005. *Advancements in Hydraulic Modeling of Cooling Water Pump Intakes in Power Plants*. Chicago.
- Kim, J.W., Dae, S.L., & Jong, H.K., 2000. *A Hydraulic Model Study of Intake Structure*. Kori: Republic of Korea.
- Knauss, J., 1987. *IAHR Hydraulic Structures Design Manual, Vol. "*. Rotterdam: Netherlands.
- Larsen, J., & Padmanabhan., 1986. *Intake Modeling*. Pump Handbook. McGraw-Hill Book Co. St. Louis, Missouri.
- McDonough, J.M., 2009. *Lectures in Elementary Fluid Dynamics : Physics, Mathematics and Application*. Lexington : Departments of Mechanical Engineering and Mathematics, University of Kentucky.

- Nakato, Tatsuki., 1990. *A Hydraulic Model Study of The Proposed Pump-Intake and Discharge Flume: Florida Power Corporation's Crystal River Helper Cooling-Tower Project*. The University of Iowa: Iowa City.
- Nakayama, Y., 1998. *Introduction to Fluid Mechanics*. United Kingdom: Butterworth Heinemann.
- Rahmat, & Senen. 1999. *Eksperimen Model Uji Kavitas Pompa Sentrifugal*. UNDIP: Teknik Mesin.
- Reynolds, Osborne., 1883. *An Experimental Investigation of Circumstances which determine whether the Motion of Water shall be Direct or Sinous, and the Law of Resistance in Parallel Channels*. London: The Royal Society.
- Suerich-Gulick, dkk. 2014. *Characteristics of Free Surface Vortices at Low Head Hydropower Intakes*. Journal of Hydraulic Research, Vol. 140, hlm 291-299.
- Suyanto, I., & Sutardi. 2006. *Experimental Study On Cavitation Phenomena In A Centrifugal Pump Using Flow Visualitation And Vibration Analysis*. *Majalah IPTEK*, 15 Nopember. Volume 17.
- Walker, Kent., 2016. *Intake Vortex Formation and Suppression at Hydropower Facilities. Final Report*. United States: Bureau of Reclamation.
- Yulistiyanto, Bambang., 2012. *Mekanika Kontinum-Boundary Layer*. Diklat Perkuliahan. Tidak di terbitkan. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.

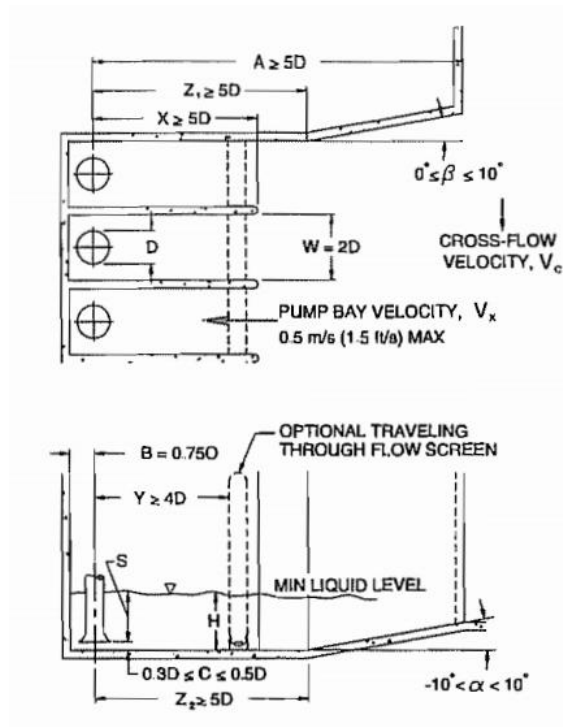
LAMPIRAN I

HYDRAULICS INSTITUTE STANDARD (HIS)

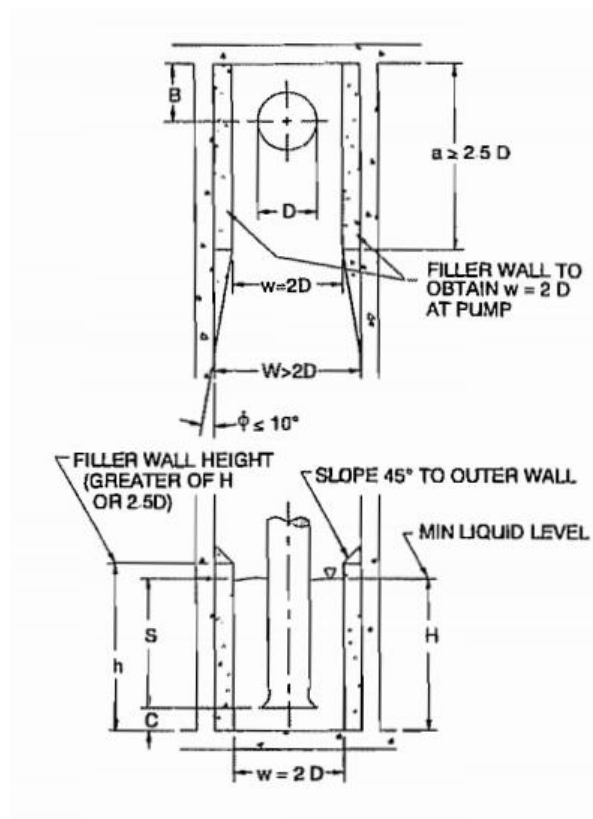
Pada lampiran ini diberikan ketentuan-ketentuan desain *Intake Water Pump* berdasarkan ANSI/HI 9.8-1998.



Gambar 1 Diaram alir dalam perancangan kanal *Water Intake*



Gambar 2 Rekomendasi *layout* struktur *Intake*

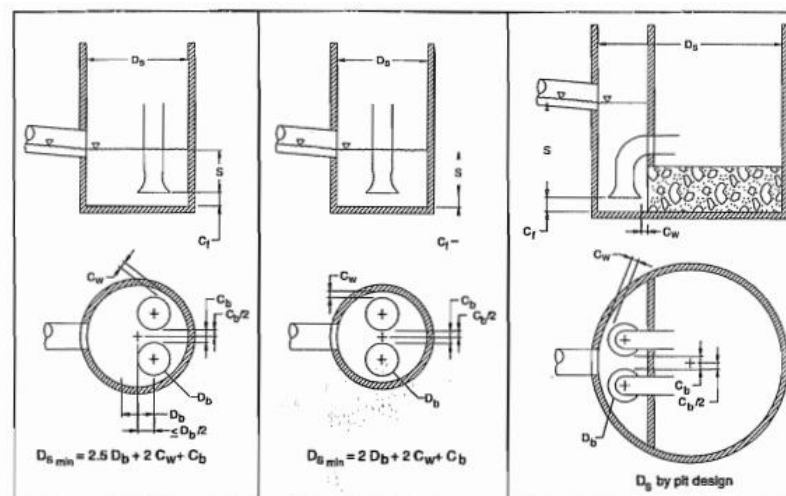


Gambar 3 Detail dinding bagian dalam kanal

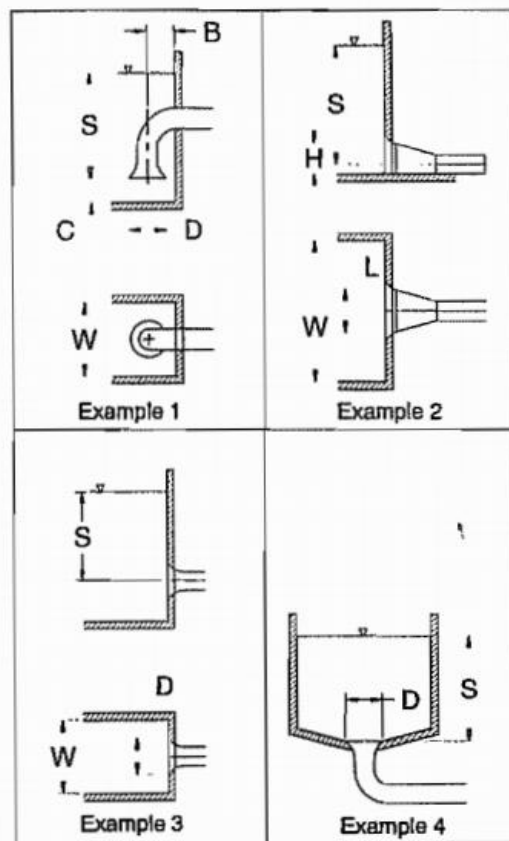
Tabel 1 Rekomendasi ukuran untuk Gambar 2 dan 3

Dimension Variable	Description	Recommended Value
A	Distance from the pump inlet bell centerline to the intake structure entrance	$A = 5D$ minimum, assuming no significant cross-flow ^a at the entrance to the intake structure
a	Length of constricted bay section near the pump inlet	$a = 2.5D$ minimum
B	Distance from the back wall to the pump inlet bell centerline	$B = 0.75D$
C	Distance between the inlet bell and floor	$C = 0.3D$ to $0.5D$
D	Inlet bell design outside diameter	See Section 9.8.6
H	Minimum liquid depth	$H = S + C$
h	Minimum height of constricted bay section near the pump inlet bell	$h = (\text{greater of } H \text{ or } 2.5D)$
S	Minimum pump inlet bell submergence	$S = D(1.0 + 2.3 F_D)$ (see Section 9.8.7 for detailed discussion on determining minimum submergence)
W	Pump inlet bay entrance width	$W = 2D$ minimum
w	Constricted bay width near the pump inlet bell	$w = 2D$
X	Pump inlet bay length	$X = 5D$ minimum, assuming no significant cross-flow at the entrance to the intake structure
Y	Distance from pump inlet bell centerline to the through-flow traveling screen	$Y = 4D$ minimum. Dual-flow screens require a model study
Z_1	Distance from pump inlet bell centerline to diverging walls	$Z_1 = 5D$ minimum, assuming no significant cross-flow ^a at the entrance to the intake structure
Z_2	Distance from inlet bell centerline to sloping floor	$Z_2 = 5D$ minimum
α	Angle of floor slope	$\alpha = -10$ to $+10$ degrees
β	Angle of wall convergence	$\beta = 0$ to $+10$ degrees (Negative values of β , if used, require flow distribution devices developed through a physical model study)
ϕ	Angle of convergence from constricted area to bay walls	$\phi = 10$ degrees maximum

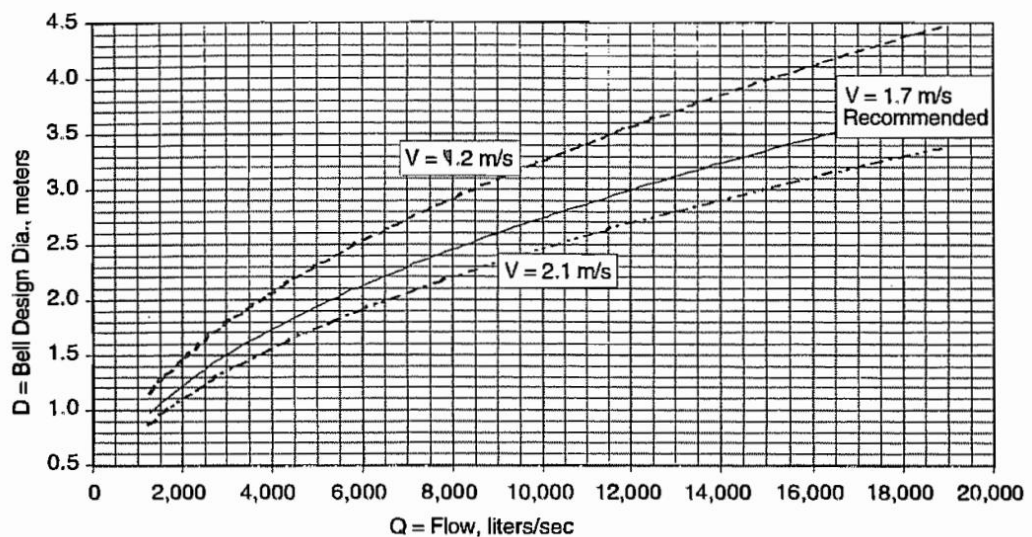
^a Cross-flow is considered significant when $V_C > 0.5 V_X$ average



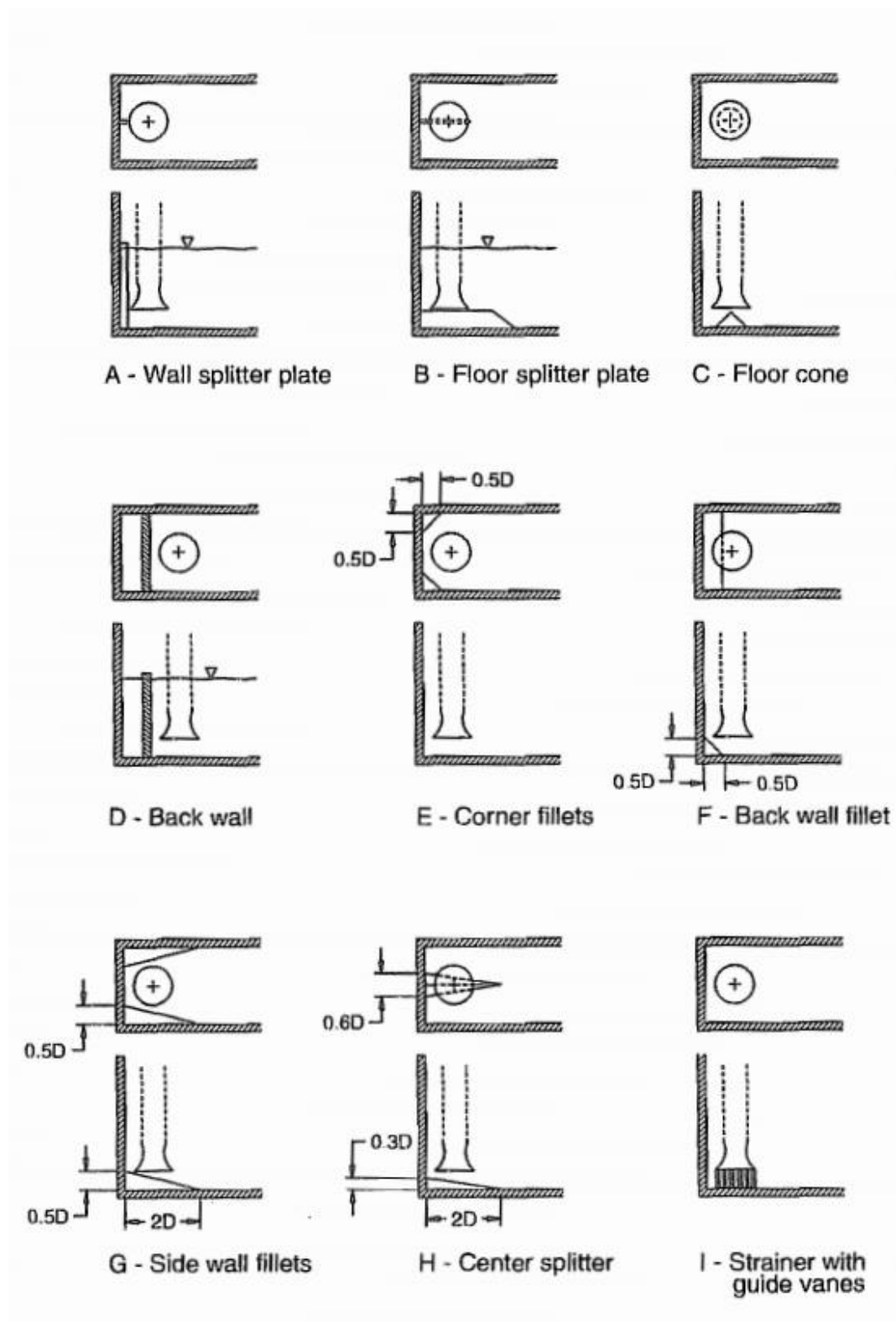
Gambar 4 Rekomendasi peletakkan mulut pompa



Gambar 5 Rekomendasi desain pipa penghisap



Gambar 6 Grafik kontrol parameter dimensional dalam model kanal



Gambar 7 Tipe-tipe *anti-vortex*

LAMPIRAN II

DATA AWAL PENELITIAN

Data awal yang digunakan dalam penelitian dipaparkan pada lampiran ini termasuk gambar-gambar teknik dari struktur *water intake* PLTGU Grati

1. Data awal penelitian

Tabel 2 Data spesifikasi pompa yang diperlukan pada operasional *Water Intake*

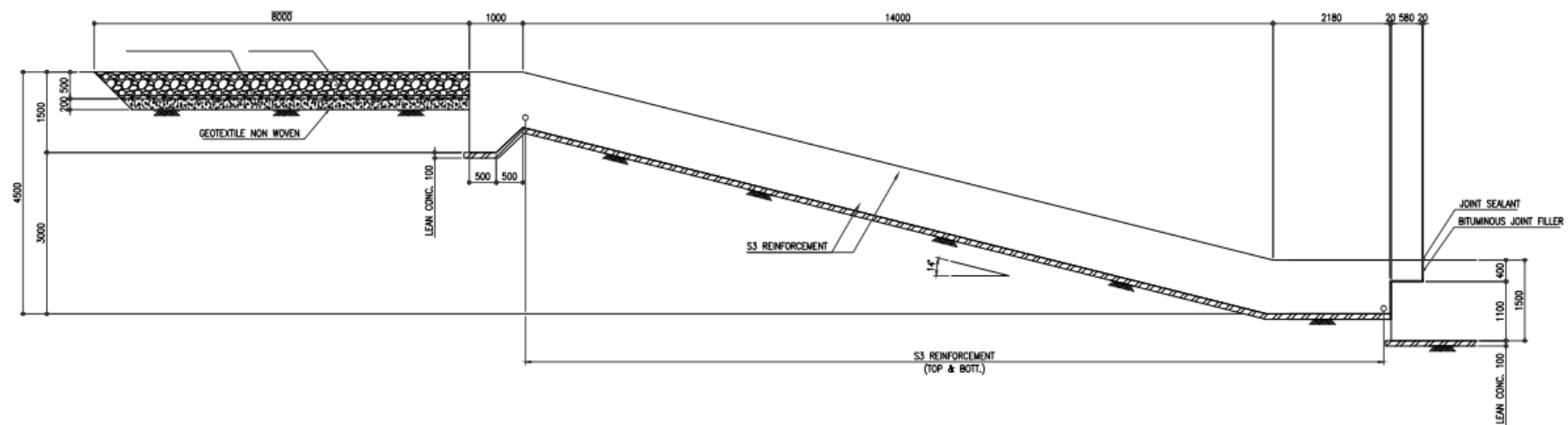
Pump Data					
1	Item Name	Circulating Water Pump			
2	Pump Type	Centrifugal Vertical Pump			
3	Pump Configuration	2 x 50			%
4	Rated Pump Flowrate	25000			m ³ /h
5	Total Flowrate	50000			m ³ /h
6	Suction Pressure	-	0.46	0.48	kg/cm ² .g
7	Discharge Pressure	2.07			kg/cm ² .g
8	Differential Head	16			m
9	NPSHa/r	14.27/7			m
10	Speed	424			rpm
11	Other informations	Please refer to Mech. Data Sheet			
12	Dimension Detail	Please refer to Civil Drawing			

Tabel 3 Data dimensi kanal *Water Intake*

Intake Chamber Data		
No.	Item	elevation
1	H.H.W.L	+2.009
2	M.S.L	0
3	L.L.W.L	-2.009
4	Pump M.W.L	-3.310
5	Bottom Pit T.O.C	-6.670
6	First Floor	-2.000
7	Dimension Detail	Please refer to Civil Drawing

Tabel 4 *Circulating cooling water pump process datasheet*

1	Item No.	P0GAF10AP001/002		
2	Service	Circulating Cooling Water Pump		
3	Pump Type	Centrifugal Pump		
4	Rotor Arrangement Type	Vertical		
5	No Required	Continuous: 2	Stand By: 0	Total : 2
6	Driver Type for Operation	Electric Motor		
7	Driver Type for Spare	Electric Motor		
8	Installation	Outdoor		
9	Area Classification	Non-Hazardous		
10	Operation Case	Continuous:		
11	Liquid Name	Sea Water		
12	Liquid Type	Non Hazardous		
13	Pumping Temperature (Suction / Discharge)	°C	30 / 30	
14	Specific Gravity (Suction / Discharge) @PT	-	1.024 / 1.024	
15	Viscosity (Suction / Discharge) @PT	cP	0.870 / 0.870	
16	Vapor Pressure @PT	kg/cm2.a	0.058	
17	Capacity (Normal / Rated)	m³/hr	25000.0 / 25000.0	
18	Suction Pressure (Normal / Maximum)	kg/cm2.g	0.46 / 0.48	
19	Discharge Pressure at Pump Bowl	kg/cm2.g	2.07	
20	Differential Pressure	kg/cm2	1.62	
21	Differential Head @ Disch. Sp. Gr.	m	16	
22	NPSH Available	m	14.27	
23	Hydraulic Horse Power	kW	1121.91	(Assumed Efficiency : 100 %)
24	Seal Type / Seal Code	Gland Packing		
25	Note:			



Gambar 10 Detail slope lantai pada permulaan kanal

(sumber GRT-CC03-P0PAC-175169_R0)

LAMPIRAN III

PROSES PENGUJIAN

Pada lampiran ini akan dipaparkan proses pengujian berupa dokumentasi penulis selama tahapan penelitian.



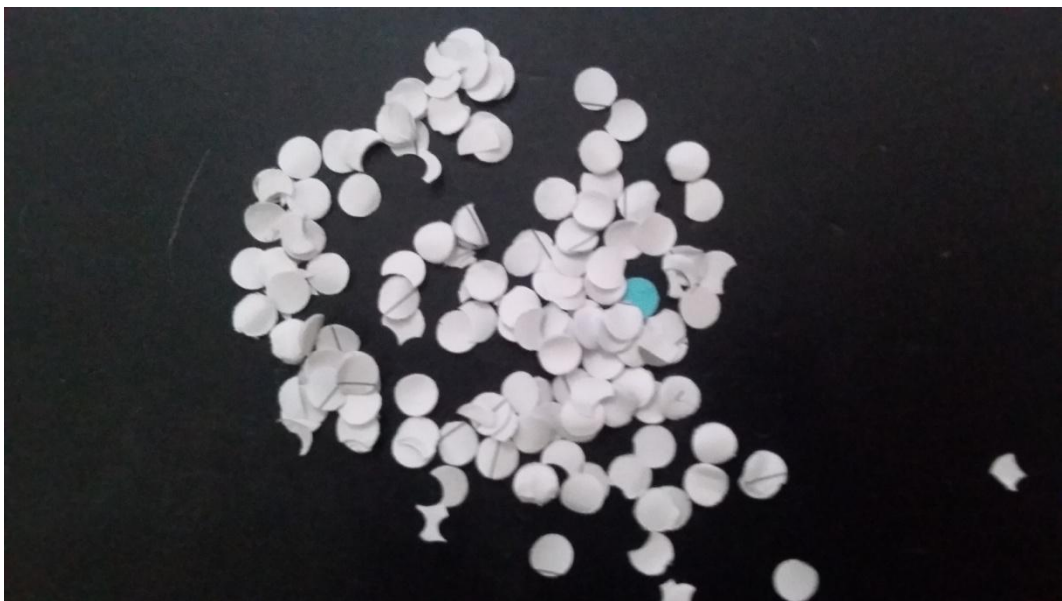
Gambar 11 Proses pengisian air ke dalam kanal



Gambar 12 Pewarna yang dipakai selama pengujian



Gambar 13 Uji kekentalan pewarna



Gambar 14 Potongan-potongan kertas untuk memudahkan mengamati pergerakan fluida



Gambar 15 *Inverter set-up*



Gambar 16 Pengaturan posisi pengambilan video



Gambar 17 Pengambilan data debit aliran

LAMPIRAN IV

HASIL PENGAMATAN

Pada lampiran ini penulis akan menampilkan lebih detail hasil dari pengamatan yang telah dilakukan.

Tabel 5 Data hasil pengukuran debit aliran pada elevasi 58 cm

No	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
1	14.1	1.16	0	2.3	1.3	0	21.9	0	0
2	22.6	1.86	0	9.8	8.3	0	18.4	0	0
3	23.4	0.14	0	1.8	1.9	0	20	0	0
4	20.2	0.7	0	4.7	8.4	0	19.1	0	0
5	17.3	0.2	0	2.4	1.9	0	20	0	0
6	22.6	1.8	0	2.1	1.6	0	17.5	0	0
7	22.1	2.7	0	10.9	5.3	0	18.9	0	0
8	14.1	4.6	0	15.7	3.8	0	22	0	0
9	13.5	6.6	0	24.7	8.7	0	14.6	0	0
10	17.5	5.96	0	12.5	1.4	0	15.7	0	0
11	16.5	5.4	0	10.7	2.9	0	18.7	0	0
12	15.1	5.14	0	17.1	2.3	0	17.6	0	0
13	19.2	2.25	0	12.2	6.9	0	10	0	0
14	16.7	2.5	0	19.1	3.7	0	9.3	0	0
15	17.5	5.21	0	11.9	6.9	0	13.4	0	0
16	17.2	1.52	0	11.7	9.4	0	12.3	0	0
17	22.8	2.39	0	9.9	5.4	0	10.9	0	0
18	24.6	1.83	0	8.3	4.4	0	11.9	0	0
19	26.4	4.89	0	18.7	4.8	0	10.3	0	0
20	16.1	1.8	0	13.4	8.76	0	5.5	0	0
Q Rata-rata	19.21	3.293	0	13.3	5.55	0	11.99	0	0
V Rata-rata	0.16	0.03	0	0.11	0.05	0	0.1	0	0

Tabel 6 Data hasil pengukuran debit aliran pada elevasi 44.5 cm

No	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
1	15.06	6.86	0	25.87	1.89	0.45	20.85	0	-0.34
2	9.56	7.91	0	18.24	5.91	0.47	20.93	0	-1
3	14.3	8.77	0	27.68	6.07	1.32	20.7	0	-2.59
4	12.97	7.58	0	20.71	3.55	0.51	24.34	0	-0.46
5	13.3	8.61	0	18.95	4.6	0.38	19.32	0	-1.18
6	16.47	12.9	0	20.95	3.96	0.01	20.66	0	-0.49
7	14.72	6.56	0	21.03	2.41	0.52	22.06	0	-0.49
8	9.96	8.78	0	21.72	1.89	0.79	21.52	0	-0.22
9	12.27	9.99	0	21.4	2.55	2.05	19.37	0	-1.89
10	16.47	9.67	0	28.16	1.66	0.12	20.98	0	-3.44
11	18.15	8.01	0	19.6	1.4	0.76	17.39	0	-4.02
12	13.01	5.73	0	20.79	6.85	2.86	18.6	0	-4.45

13	17.08	14.5	0	17.11	5.91	4.41	21.09	0	-2.15
14	13.26	6.72	0	14.09	6.07	4.62	21.86	0	-1.74
15	16.77	9.07	0	21.25	1.66	0.43	22.5	0	-1.82
16	10.49	1.95	0	25.3	6.28	0.43	18.4	0	-1.51
17	15.2	7.07	0	20.83	4.95	0.72	21.9	0	-1.87
18	14.12	8.6	0	19.45	3.96	0.45	23.3	0	-5.07
19	15.95	2.65	0	18.97	1.22	0.47	23.6	0	-3.42
20	9.72	8.11	0	21.52	2.41	1.32	19.47	0	-3.77
Q Rata-rata	14.38	7.24	0	19.89	4.07	1.65	20.8	0	-2.98
V Rata-rata	0.12	0.06	0	0.16	0.03	0.01	0.17	0	-0.025

Tabel 7 Data hasil pengukuran debit aliran pada elevasi 44.5 cm

No	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
1	23.86	13.33	5.97	21.16	0	3.84	22.53	18.67	0
2	20.29	12.93	6.02	10.2	0	4.86	24.36	16.97	0
3	27.45	12.61	7.9	9.42	0	1.83	26.82	15.15	0
4	23.35	9.49	5.17	11.42	0	4.62	23.59	15.23	0
5	25.9	10.39	6.45	13.91	0	6.22	18.79	14.06	0
6	28.21	10.5	5.21	16.07	0	3.48	24.47	12	0
7	28.5	8.38	6.48	15.2	0	2.88	22.96	17.59	0
8	27.1	6.05	3.8	12.74	0	4.92	20.55	14.31	0
9	26.9	4.73	8.07	16.82	0	8.21	18.51	14.91	0
10	33.2	12.64	6.93	18.43	0	5.57	14.6	8.96	0
11	33.41	5.68	8.48	14.72	0	3.97	17.68	13.19	0
12	27.9	9.61	5.8	18.61	0	4.59	19.85	10.32	0
13	23.65	7.49	8.72	17.25	0	3.69	21.79	6.5	0
14	21.1	14.24	6.22	15	0	5.14	18.78	11.52	0
15	23.71	9.49	4.9	18.71	0	3.07	16.49	12.55	0
16	23.48	13.33	6.85	14.31	0	2.48	18.03	16.6	0
17	20.63	12.64	8.12	9.33	0	3.26	19.46	17.12	0
18	21.93	2.85	8.22	15.94	0	4.84	17.06	11.89	0
19	20.05	6.6	4.9	18.47	0	2.29	23.79	10.71	0
20	21.88	10.89	6.02	18.62	0	6.33	16.71	15.15	0
Q Rata-rata	25.13	9.7	6.51	15.32	0	4.3	20.34	13.67	0
V Rata-rata	0.206	0.079	0.05	0.13	0	0.04	0.17	0.11	0

BIODATA PENULIS



Taufiq Wibawa Muslim panggilan Taufiq lahir di Majalengka pada tanggal 08 Februari 1997 dari pasangan suami istri Bapak Aming Rismana dan Ibu Aan Darwati. Peneliti adalah anak pertama dari empat bersaudara. Penulis saat ini berdomisili di Desa Pagandon Kec. Kadipaten Kab. Majalengka-Jawa Barat.

Menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Pagandon pada tahun 2009. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Kadipaten (NESAKA) dan lulus pada tahun 2012. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang menengah atas di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Majalengka (SMANSA) dan mengikuti program akselerasi selama dua tahun. Penulis lulus SMA pada tahun 2014 kemudian melanjutkan kuliah Program Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Kelautan FTK ITS melalui program beasiswa Bidikmisi dan lulus pada tahun 2019.

Selama menempuh jenjang pendidikan formal, penulis aktif sebagai anggota Pramuka. Penulis mulai mengikuti kegiatan kepramukaan sejak masih duduk di bangku SD dan berlanjut sampai ke jenjang perkuliahan. Selain aktif di Pramuka, penulis juga pernah menjadi pengurus OSIS dan anggota Paskibraka pada saat Sekolah Menengah Pertama. Kemudian aktif menjadi anggota Lembaga Dakwah Jurusan Bahrul 'Ilmi Departemen Teknik Kelautan.